Untersuchungen

einiger chemisch-physikalischen Eigenschaften der Abschlämmprodukte

des

Podsol- und Lössbodens.

Inaugural-Dissertation

der

Hohen staatswirtschaftlichen Fakultät

der

Kgl. Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität München

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

D. P. Masurenko.

München 1903.

Druck von M. Ernst, Senefelderstrasse 4.

Referent:

Professor Dr. E. Ramann.

Einleitung.

I.

Die vorliegende Arbeit wurde zum Zweck der Ausfüllung einiger Lücken in der Erforschung der Böden des süd-östlichen Russlands (der trockenen Asow'schen und kaspischen Steppen) unternommen. Mit dem Uebergang von der Weidewirtschaft zur Getreidewirtschaft stellte sich die Notwendigkeit heraus, die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Feld-, Wald- und Wasserwirtschaft zu untersuchen.

Kalte Winter ohne Schnee, trockene Sommerwinde, starke Schwankungen der Niederschläge und deren Mangel (Jahresdurchschnitt 200—400 mm) bei starker Wasserverdunstung*) setzen für das rationelle und erfolgreiche Betreiben der Landwirtschaft sorgfältiges Studium des Bodens voraus, dem einzigen Faktor, der der Einwirkung des Landwirts im Kampfe mit den der Kultur ungünstigen klimatischen Verhältnissen zugänglich ist, sowie Anwendung entsprechender technischer Methoden der Bodenbearbeitung und der Meliorationen, die die Aufgabe haben, die Ansammlung, die Aufbewahrung und die für die Kultur zweckmässige Verwendung des Wassers zu bewirken.*)

*) Im Osten dieses Gebietes (Astrachan) während der Vegetationsperiode (April bis August) ergibt sich an Niederschlägen 72 mm und an Verdunstung (nach Angabe des Evaporometer) 657 mm; im Westen (Lugansk) während derselben Zeit 208 mm, bezw. 546 mm (Wild, Britzke, Rauner).

Nach dem Bekenntnis des bekannten russischen Hydrotechnikers S. J. Rauner ist „die Untersuchung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens eine unumgängliche Notwendigkeit für das Erkennen und die richtige Behandlung der Frage über die künstliche Bewässerung", und die Bewässerung ist in diesem Gebiete eine der wichtigsten Meliorationen.

Da sich dasselbe auch bezüglich Feldkultur und Steppenwaldbau sagen lässt, so ist die chemisch-physikalische Untersuchung der Böden der trockenen Steppen, abgesehen vom wissenschaftlichen, von einem grossen praktischen Interesse.

Als Gegenstand der Untersuchung diente zunächst der Boden des Donetzfluss-Gebietes (innerhalb des Donetz-Bezirks), einer in Bezug auf das Klima und Vegetation für die gegebene Steppenregion ziemlich typischen Gegend.

Die Proben der hier am meisten verbreiteten Böden wurden von mir mittelst einer besonderen Vorrichtung (Rispoloschensky-Vorrichtung) entnommen und unter Beibehaltung der natürlichen Struktur und Schichtenfolge — Boden-, Uebergangs- und Untergrundschichten — nach Moskau zur eingehenden Untersuchung im Laboratorium für Bodenkunde des landwirtschaftlichen Instituts transportiert.

Gleichzeitig damit wurde für die Voruntersuchung als Grundmaterial ein Muster des Mutterbodens (südrussischer Löss) verwendet, der nicht nur diese Gegend, sondern für die ganze südöstliche Steppenregion Russlands typisch ist.

Dieser Mutterboden diente als Ausgangsmaterial bei der Erforschung der chemisch-physikalischen Eigenschaften einzelner mechanischer Bodenelemente.

Um einseitige Schlussfolgerungen zu vermeiden, wurde gleichzeitig die mechanische Zusammensetzung des Moskauer Podsols untersucht.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Verbindung mit bezüglichen Literaturangaben in der vorliegenden Abhandlung niedergelegt.

Da es notwendig war den chemisch-physikalischen Charakter einzelner Gruppen der „Feinerde" der untersuchten Böden, des „physikalischen Tons" und des „physikalischen Sandes" nicht nach den bodenbildenden Mineralien, wie Kaolin oder Quarz, zu bestimmen, sondern nach den mechanischen Elementen der Böden selbst, mussten diese Elemente aus dem betreffenden Mutterboden ausgeschieden werden, wo sie ihren mineralischen Charakter in grösserer Reinheit, als im gemischten Boden, bewahren.

Zu diesem Zweck wurde die „Feinerde" ($< 0{,}25$ mm) des Podsols und des Löss durch Abschlämmung nach dem Verfahren Schöne-Williams in nachstehende fünf Gruppen zerlegt:

1. Feinsand . . von 0,05 mm bis 0,25 mm
2. Grobstaub . „ 0,01 „ „ 0,05 „
3. Mittelstaub . „ 0,005 „ „ 0,01 „
4. Feinstaub . „ 0,001 „ „ 0,005 „
5. Schlamm $<$ 0,001 mm.

Der experimentelle Teil der Arbeit bezüglich der Bodenphysik wurde im bodenkundlichen Laboratorium des landwirtschaftlichen Instituts zu Moskau im Jahre 1900, bezüglich der Bodenchemie in München im chemisch-bodenkundlichen Universitätslaboratorium bei Professor Dr. E. Ramann 1901/02 ausgeführt.

Ich benütze hier die Gelegenheit, meinen hochverehrten Lehrern, Professor Dr. E. Ramann und Professor W. R. Williams, die mich mit Rat unterstützten, meinen wärmsten Dank abzustatten.

II.

Den wichtigsten Teil der Vorarbeit bildete die Abscheidung der mechanischen Elemente des Löss und des Podsols.

Bodenteilchen von mehr als 0,25 mm Durchmesser (im Lössboden fanden sie sich beinahe gar nicht vor) wurden mittelst destillierten Wassers durch ein Sieb von 0,25 mm Lochweite von der Feinerde abgetrennt und abgewaschen, hierauf die feinerdigen Teilchen in demselben Wasser durch fünf Minuten Abschlämmung in zwei Gruppen verteilt: in die mit den gröberen Bestandteilen (0,01—0,25 mm) in dem Niederschlage und in die mit den suspendierenden feineren (bei 10 cm Wasserhöhe in einem Glaszylinder von 20 cm innerer Weite).

Nach Abfliessen der trüben Flüssigkeit mit den suspendierenden Bodenpartikelchen wurde der im Glaszylinder gebliebene Rückstand mit frischem Wasser bis zur völligen Entfernung der während fünf Minuten schwimmenden Teilchen ausgewaschen.

In der ersten Gruppe (0,01—0,25) wurden im Schöne'schen Apparate die Grobstaubteilchen (0,01—0,05) durch einen Wasserstrom (von der Geschwindigkeit von 2,11 mm pro Sekunde) von den Teilchen des Feinsandes (0,05—0,25) abgetrennt.

Für die reinere Scheidung des Feinsandes (0,05—0,25) von den feinsten Partikelchen wurde folgendes Verfahren angewandt.

Nach dem vorläufigen Abschlämmen der feinerdigen Teilchen im Schöne'schen Apparate wurde das konisch-zylindrische Glasgefäss des Apparates nebst dem Wasser und dem Rückstand des Abschlämmproduktes in Verbindung mit Wasserstrahlpumpe (Vacuumapparat) gebracht, durch den Luftzug die Abschlämmprodukte

während einer halben Stunde umgerührt und wiederum im Schöne'schen Apparate abgeschlämmt.

Nach solchem wiederholten Umrühren und Schlämmen wurden die feinerdigen Partikelchen rein vom Feinsande abgetrennt, so dass ein weiteres halbstündiges und sogar stündiges Aufrühren des Abschlämmproduktes keine Trübung im Schöne'schen Apparate mehr verursachte. (Dasselbe Verfahren, verbunden mit Kochen, wurde auch bei der Trennung anderer mechanischer Bodenbestandteile angewandt.)

Die nunmehrige Aufgabe bestand darin, die durch das Abschlämmen im ruhigstehenden Wasser feinerdig gewordenen Bodenpartikelchen (< 0,01) in weitere Gruppen zu zerlegen.

Hierzu wurde die Flüssigkeit nebst den Abschlämmprodukten in den Glaszylinder bis zur Marke 10 cm aufgegossen, kräftig umgerührt und sodann, um im Niederschlage den Mittelstaub (0,005 – 0,01) zu erhalten, sechs und für Feinstaub (0,001—0,005) 24 Stunden lang ruhig stehen gelassen.

Die schlammigen Partikelchen (< 0,001) blieben nach 24 Stunden im Wasser suspendiert und wurden dann mit der trüben Flüssigkeit zusammen in den grossen Glaszylinder gegossen.

Während des Abschlämmens und Abwaschens der erwähnten mechanischen Bodenelemente bestanden die wesentlichen Hindernisse (wie gewöhnlich) im Zerteilen der Krümel des Abschlämmaterials und der beim Abschlämmen entstehenden Flocken. Die Krümel und die Schlammflocken fielen ebenso schnell nieder, als die gröberen Staubteilchen.

Das Zerspalten derselben und das Abwaschen in stets frischem Wasser (bei Anwendung des Zerkochens und des oben erwähnten Umrührens durch die Luft) war eine langwierige und mühsame Arbeit.

Das Wasser, welches für die Abschlämmung und die Trennung der Bodenteilchen gebraucht wurde, nebst dem Schlamm und den im Wasser gelösten Bestandteilen, wurden in grossen Glaszylindern gesammelt und nach langdauerndem (wochenlangem) Absetzenlassen die klare Flüssigkeit abgegossen, die trübe in der Porzellanschale abgedampft, in der sich hierauf der trockene Schlamm ansammelt.

Für Löss wurde in den gesammelten klaren Flüssigkeiten die Menge der aufgelösten Salze bestimmt. Hierbei fand sich in einem Liter Flüssigkeit 0,0845 gr trockene Restsubstanz vor; da für jedes Kilogramm des abgeschlämmten Löss gegen 40 Liter Wasser verbraucht wurde, ist also in die Lösung gegen 0,3 % der Substanz übergegangen.

Die auf diese Art erhaltenen fünf erwähnten Gruppen der mechanischen Podsol- und Lössbodenbestandteile wurden bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften (spezifisches Gewicht, Volumgewicht und Porosität) untersucht.

Die Resultate der Untersuchungen nebst einigen literarischen Nachweisen werden in folgenden Kapiteln dargelegt.

Die allgemeinen physikalischen Eigenschaften der Podsol- und Lösschlämmprodukte.

Die auf oben geschriebene Methode erhaltenen mechanischen Podsol- und Lössbodenbestandteile unterschieden sich in ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften scharf nur in Bezug auf ihre äussersteren Glieder: Feinsand (0,05—0,25 mm) und Schlamm (< 0,001).

Ersterer offenbarte die Eigenschaften des Triebsandes und letzterer die Besonderheiten des plastischen Tons.

Die Mittelglieder (die staubigen Bestandteile) stellten in ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften den Stufengang von den quarzsandigen bis zu den tonigen im Wasser schwebenden Teilchen dar.

Die schlammigen Podsol- und Lösspartikelchen (< 0,001) entwickelten, ungeachtet des wesentlichen Unterschiedes in ihrer chemischen Zusammensetzung, die gleichen physikalischen Eigenschaften.

Bei Sonnenlicht blieben sie unbestimmt lange Zeit im Wasser suspendiert; darum musste man, um das Senken der Schwammteilchen zu beschleunigen, die Glasgefässe mit der trüben Flüssigkeit vor Licht-, Wärmestrahlen und jeglicher Erschütterung schützen.

Die Schlammteilchen befanden sich unter dem Mikroskop in ununterbrochener Bewegung und an diesem Kennzeichen unterschieden sie sich scharf vor allen anderen gröberen, mechanischen Bodenteilchen.

Schon aus diesem Grunde muss man die Schlammteilchen als eine besondere Gruppe der vibrierenden Bodenbestandteile abtrennen.

Ferner entwickelten diese Teilchen die grösste Anziehungskraft (Kohäsionskraft). Schon im Wasser verbanden sie sich in Flocken und nach dem Austrocknen zerfielen sie nicht wie eine Sandmasse; im Gegenteil, die Schlammpartikelchen verbanden sich zu einer festen, nur mit Mühe zerbrechbaren Masse.

Dagegen zerfiel die wie ein Stein feste Masse leicht nach Benetzung in einzelne Krümelchen und zeigte bei Zusatz von mehr Wasser die plastischen Eigenschaften des fetten Tons.

Die aus solcher Masse verfertigten Ziegel nahmen durch Austrocknen bei +105° C im Luftbad an Umfang 30—36 % des anfänglichen Volumens ab, und zwar:

		Volumen	Wassergehalt	Volumen	Volumenverminderung	
		ccm	%	ccm	%	
Lössziegel	1	9,94	42,72	6,60	33,60	34,7 %
	2	9,94	42,84	6,59	33,70	
	3	18,80	48,28	11,90	36,70	
Podsolziegel	1	10,00	52,15	7,02	29,80	30,8 „
	2	10,00	54,16	6,91	30,90	
	3	10,00	54,91	6,84	31,60	

Jedoch unterschieden sich die Lössziegel von den Podsolziegeln durch ihre grössere Dichtigkeit und ihr grösseres Gewicht. Dies resultiert aus dem grösseren Eigengewicht des Lösschlammes (2,755) — im Vergleiche zum Podsolschlamm (2,669), — sowie aus der Form und Grösse der Podsol- und Lösschlammteilchen.

Die flachen Lössteilchen lagern sich dichter und lassen weniger Zwischenraum als die kugelförmigen Podsolteilchen. Die Porosität der Lössziegel beträgt nach Berechnung des Mittels aus drei

Bestimmungen — 31,40 %, die des Podsolziegels dagegen 41,11 %.

		Ziegelvol. ccm	Porenvol. ccm	Porosität %	
Lössziegel	1	6,59	2,04	30,95	31,40 %
	2	6,60	2,04	30,91	
	3	11,90	3,85	32,35	
Podsolziegel	1	6,84	2,80	40,94	41,11 „
	2	6,91	2,85	41,24	
	3	7,02	2,89	41,15	

Ebenso ist die Hygroskopizität des Lösschlammes, sowohl in gesättigter Wasserdampfatmosphäre, als auch bei der gewöhnlichen Laboratoriumsluftfeuchtigkeit, grösser als die des Podsolschlammes. Dasselbe kann man auch von den anderen mechanischen Lössbodenbestandteilen behaupten, wie aus nachstehender Tabelle ersichtlich ist.

Hygroskopizität der mechanischen Löss- und Podsolelemente in gesättigter Wasserdampfatmosphäre (bei + 25° C).

Lössboden.

		Gewicht des rohen Ziegels	Gewicht des absolut trock. Ziegels	Hygroskopizität zu 100 gewichtteil. trock. Substanz	
Schlammziegel	1	14,176	12,532	13,12 %	13,37 %
	2	14,283	12,570	13,62 „	
Feinstaubziegel	1	13,788	12,390	11,29 „	11,05 „
	2	23,437	21,148	10,82 „	
Mittelstaubziegel	1	16,146	15,468	4,40 „	4,50 „
	2	27,476	26,264	4,61 „	
Grobstaubziegel	1	15,895	15,795	0,63 „	0,62 „
	2	26,237	26,074	0,62 „	
Feinsandziegel	1	16,476	15,776	0,44 „	0,44 „
	2	26,280	26,165	0,44 „	

Podsolboden.

		Gewicht des rohen Ziegels	Gewicht des absolut trock. Ziegels	Hygroskopizität zu 100 gewichtteil. trock. Substanz	
Schlamm-ziegel	1	11,919	10,834	10,01 %	10,18 %
	2	12,149	11,009	10,35 „	
Feinstaub-ziegel	1	11,187	10,617	5,37 „	5,19 „
	2	13,281	12,646	5,02 „	
Mittelstaub-ziegel	1	14,886	14,617	1,84 „	1,75 „
	2	14,579	14,341	1,66 „	
Grobstaub- u. Feinsand-ziegel (0,01–0,25 mm)	1	16,867	16,797	0,41 „	0,41 „
	2	17,311	17,241	0,41 „	

Die Hygroskopizität derselben Elemente als Pulver war — bei gleichen Bedingungen wie in den Ziegeln — grösser, und zwar:

	Schlamm-pulver	Fein-staubpulv.	Mittelstaub-pulv.	Grobst.-pulv.	Fein-sand
	%	%	%	%	%
Lössboden	20,65	14,15	6,86	1,80	0,79
Podsolboden	14,97	6,39	1,99	0,41	

Die Bestimmung des hygroskopischen Wassers der lufttrockenen Materialien ergab folgendes Resultat:

	Schlamm-pulver	Feinstaub-pulv.	Mittelstaub-pulv.	Grobst.-pulv.	Fein-sand
	%	%	%	%	%
Lössboden	9,07	7,29	3,20	0,55	0,35
Podsolboden	4,99	2,63	0,58	0,10	

Schon diese Zahlen weisen auf die eigentümliche Natur der schlammigen Lössteilchen hin und lassen ersehen, dass ihr Zerfall tiefer und weiter als der der Podsolteilchen geht, und mit ihm wächst die Oberfläche der Bodensubstanz und die Einflusssphäre der Verwitterungsagentien.

Endlich sogen die schlammigen Podsol- und Lösskrümel und -Ziegeln Wasser ebenso gierig ein, wie der fette Ton und nahmen im Umfange zu.

Der Feinsand (0,05—0,25) des Podsol- und Lössbodens entwickelte im Gegensatz zum Podsol- und Lössschlamm die typischen Eigentümlichkeiten des gewöhnlichen Quarzsandes. Die Ziegelform behielt er nur im feuchten Zustande bei, aber beim Austrocknen verloren die Feinsandkörnchen ihren Zusammenhang und die Ziegel zerfiel beim geringsten Stosse.

Soweit es möglich war, den Umfang der trockenen Ziegel auszumessen, schien es, dass letztere beim Befeuchten und Austrocknen weder ihr Volumen noch ihre Form veränderte.

Dasselbe gilt vom grobkörnigen Podsolstaub (0,01 bis 0,05).

Jedoch besassen die ebenso grossen Lössteilchen schon einen gewissen Zusammenhalt, und die aus derartigem Lösstaub verfertigten Ziegeln, beim Austrocknen bis 2,5 % im Umfange abnehmend, hielten ziemlich fest ihre gegebene Form.

Dieselben sandigen und staubigen Löss- und Podsolteilchen (0,01—0,25) im natürlichen Gemische (auf dem Schöne'schen Apparate nicht getrennt) bewahrten jedoch ihre Verbindung beim trockenen Zustande, wobei die Lössziegel 1,4—3,7 % und die Podsolziegel 0,5—1,5 % vom feuchten Volumen an Umfang abnahmen.

Löss:

	Volumen feuchte Ziegel	Wassergeh. Ziegel	Volumen trock. Ziegel	Volumenvermindg.
	ccm	%	ccm	%
a) Feinsand	9,94	24,23	9,94	0
	16,77	20,39	16,77	
b) Mischung (Feinsand u. Grobst.)	9,94	21,63	9,57	3,72
	16,77	22,84	16,54	1,37

Podsol:

	Volumen feuchte Ziegel ccm	Wassergeh. Ziegel %	Volumen trock. Ziegel ccm	Volumenvermindg. %
a) Feinsand	10,0	22,09	10,0	0
b) Mischung (Feinsand u. Grobst.)	10,0	21,74	9,85	1,5
	10,0	21,22	9,95	0,5

Im Gegenteil zu den Schlammziegeln waren die Lössfeinsandziegeln leichter und poröser als die Podsolfeinsandziegeln, obgleich das spezifische Gewicht des Lössfeinsandes (2,686) etwas höher als das des Podsolfeinsandes (2,662) ist.

	Ziegelvolumen ccm	Porenvolumen ccm	Porosität %
Lössfeinsand	9,94	4,07	41,05
	16,77	7,03	41,97
Podsolfeinsand	10,00	3,65	36,50

Die Erklärung dieser Erscheinung muss man in der unregelmässig-eckigen Form dieser Lössteilchen suchen (siehe unten).

Die Porosität des Gemisches aus dem Feinsand und dem Grobstaub war sowohl für den Lössboden (39,8 %) als auch für den Podsol (35,4 %) geringer, als die derselben einzeln genommenen Elemente, wie es Wollny vielmals an anderen Materialien beobachtete.

Die staubigen Teilchen (Fein-, Mittel- und Grobstaub) des Lössbodens, wie auch der Fein- und Mittelstaub des Podsolbodens, besassen gemeinsam die Eigenschaft, dass sie bei Austrocknen Bindigkeit (Kohäsion) behielten und die von ihnen bereiteten Ziegeln an Umfang abnahmen. Insbesondere entwickelten die Feinstaubteilchen (0,001—0,005) die Plastizität des Tones und eine erhebliche Anziehungskraft, sodass sie sich in dieser Beziehung den schlammigen Bodenbestandteilen näherten. Nach dem Befeuchten formten sie sich leicht, ihre Krümel und Ziegeln wurden beim Aus-

trocknen fest und schrumpften um 33 % (Löss) und 16 % (Podsol) ihres anfänglichen Umfanges ein.

Nach diesen Eigenschaften könnte man — wenn man von den scharf ausgeprägten Molekulareigenschaften der Schlammteilchen, insbesondere von ihrer Vibrationsfähigkeit absieht —, ohne viel fehlzugehen, die Feinstaub- und Schlammelemente in eine Gruppe „physikalischen Tones" vereinigen.

Insbesondere unterscheidet sich der Lössfeinstaub in seinen physikalischen Eigenschaften wenig vom Lösschlamm.

Die Lössmittelstaubteilchen entwickelten die plastischen Eigenschaften und die Kohäsionsfähigkeit wie der Podsolstaub, desgleichen — in geringerem Masse — die Lössgrobstaubteilchen wie die Podsolmittelstaubteilchen.

Eine viel grössere Volumenverminderung der Ziegel ergaben die Lösstaubteilchen, wie aus nachstehender Tabelle zu ersehen ist.

Löss:

	Volumen feucht. Ziegel ccm	Wassergeh. Ziegel %	Volumen trock. Ziegel ccm	Volumenverminderung %	
a) Feinstaub	9,94	43,66	6,60	33,60	32,75 %
	18,90	40,00	12,87	31,90	
b) Mittelstaub	9,94	26,06	8,66	12,87	13,20 %
	16,77	25,29	14,50	13,53	
c) Grobstaub	9,94	23,46	9,78	1,61	2,14 %
	16,77	25,02	16,32	2,68	

Podsol:

a) Feinstaub	10,00	56,81	8,40	16,00	12,50 %
	10,00	44,70	9,10	9,00	
b) Mittelstaub	10,00	30,67	9,90	1,00	1,50 %
	10,00	31,43	9,80	2,00	
c) Grobstaub	10,00	25,38	10,00	0,00	0,00 %
	10,00	23,35	10,00	0,00	

In Bezug auf die Porosität der aus den Podsol- und Lösstaubteilchen verfertigten Ziegeln stellte sich ein scharfer Widerspruch in der Veränderung ihrer Grösse in der Richtung von den gröberen Staubpartikelchen zu den feinsten ein: die Porosität der Lössstaubziegel verminderte sich von den Grobstaubziegel zu den feinstaubigen, dagegen war die Porosität der Podsolziegel für Feinstaub am grössten und für Grobstaub am kleinsten.

Die Resultate dieser Porositätsveränderungen sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen:

	Volumen trock. Ziegel ccm	Porenvolumen ccm	Porosität %	
Löss:				
a) Feinstaub	6,60	2,10	31,74	30,83 %
	12,87	3,85	29,93	
b) Mittelstaub	8,66	2,94	33,93	33,48 „
	14,50	4,79	33,03	
c) Grobstaub	9,78	3,91	40,00	40,18 „
	16,32	6,62	40,56	
Podsol:				
a) Feinstaub	8,40	4,42	52,62	50,26 %
	9,10	4,36	47,91	
b) Mittelstaub	9,90	4,46	45,05	45,28 „
	9,80	4,46	45,51	
c) Grobstaub	10,00	4,05	40,50	39,30 „
	10,00	3,81	38,10	

Die chemische Zusammensetzung des Löss- und Podsolbodens sowie ihrer Abschlämmprodukte.

I.

Im letzten Kapitel wurden die physikalischen Eigenschaften der Löss- und Podsolschlämmprodukte besprochen.

Um wie viel diese Materialien nach ihrer chemischen Zusammensetzung untereinander sich unterscheiden, kann man aus der nachstehenden Tabelle sehen.

Chemische Zusammensetzung des Lössbodens und seiner mechanischen Elemente.

Bodensubstanz	Wassergehalt auf 100 Gewichtsteile abs. trock. Substanz	In 100 Gewichtsteilen abs. trock. Substanz						
		CO_2	SiO_2	Fe_2O_3 u. Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	Alkalien K Cl u. Na Cl
Lössboden . . (< 0,25)	2,461 %	5,788	61,271	15,870	8,663	1,805	—	—
Lösschlamm . (< 0,001)	9,070 „	10,108	38,985	24,851	14,093	5,103	0,319	5,973
Lössfeinstaub . (0,001—0,005)	7,296 „	9,500	42,702	24,576	12,709	3,085	—	—
Lössmittelstaub (0,005—0,01)	3,197 „	5,296	62,205	17,338	7,646	2,026	0,221	5,038
Lössgrobstaub . (0,01—0,05)	0,504 „	2,082	79,748	10,330	3,305	0,608	—	—
Lössfeinsand . (0,05—0,25)	0,349 „	2,467	84,328	8,332	3,221	0,635	—	—
Grobstaub und Feinsand . . (0,01—0,25)	0,534 „	3,109	77,418	10,681	4,805	1,005	0,112	—

Chemische Zusammensetzung des Podsolbodens und seiner Abschlämmprodukte.

Bodensubstanz	Wasser-gehalt	CO_2	SiO_2	Fe_2O_3 und Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	Alkalien (KCl u. NaCl)
Podsolboden . . . (< 0,25)	0,34 %	0,031	85,170	8,770	1,362	1,038	—	—
Podsolschlamm . . (< 0,001)	4,99 „	0,031	53,665	32,192	3,438	2,306	0,265	9,018
Podsolfeinstaub . (0,001—0,005)	2,63 „	0,028	63,200	24,283	2,691	1,847	—	—
Podsolmittelstaub . (0,005—0,01)	0,58 „	0,005	79,122	12,291	1,229	—	—	—
Grobst. u. Feinsand (0,01—0,25)	0,10 „	0,000	89,356	—	1,131	—	—	—

Die angeführten Versuchsdaten über die chemische Zusammensetzung des Donetz-Löss (Mutterboden der Schwarzerde) und seiner Abschlämmprodukte lassen als charakteristische Eigenschaften dieser Bodenart, im Vergleich zum Moskauer Podsolboden, einen bedeutenden Gehalt an kohlensauren Kalk sowie verhältnismässig kleineres Quantum an Kieselsäure feststellen.

Im allgemeinen, der chemischen Zusammensetzung nach, nähert er sich den typischen Lössbodenarten.

So z. B. Prof. Sibirtzew führt in seiner „Bodenkunde" 1900, H. III, S. 41, für den Turkestanischen Löss folgende analytische Daten*) an:

a) Löss (Mutterboden).

Silikate und Quarzsand . . .	60 – 70 %
Al_2O_3 (in H_2SO_4 aufgelöst) . .	10 – 11 %
$CaCO_3$ (in 10% HCl aufgelöst)	10—18 %
K_2O bis zu	2,5 %
P_2O_5 bis zu	0,28 %

*) Vergl. Smirnow, „Syr-Darja-Gebiet" oder „Materialien für Forschung russischer Bodenarten" von Dokutschajew und Sowjetow 1895, B. IX, S. 44.

b) Löss (Ackerboden bei Taschkent).

Sand	65 %
$CaCO_3$	7—15 %
K_2O	2,8 %
P_2O_5	0,28 %
Fe_2O_3	3,6 %

Zum Vergleich seien hier Ergebnisse der analytischen Untersuchungen der Lössarten nach Angabe anderer Forscher angeführt.

	SiO_2	CO_2	P_2O_5	Al_2O_3 u. Fe_2O_3	Ca O	Mg O	K_2O u. Na_2O
Sächsischer Löss (Kaspari & Siegert)	67,79	4,50	0,13	14,67	6,73	1,46	1,70+0,87
Sächsischer Löss (Sibirtzew)	58,41	6,13	0,08	14,36 + 4,00	7,65	1,69	2,72+1,33
Löss bei Bonn (Bischof)	62,43	—	—	7,51+5,14	(17,63 $CaCO_3$)	(3,23 $MgCO_3$)	1,75
Rheinischer Löss (Kroeker)	58,97	—	—	4,25+9,97	(20,18 $CaCO_3$)	(4,21 $MgCO_3$)	1,95
Löss a. d. Syr-Darja (Smirnow)	65,00	(15 % $CaCO_2$)		— 3,6	—	—	2,8 —
Löss des Gouvern. Nyschny-Nowgorod (Nikolajew)	64,41	3,1	—	11,11+5,58	6,13	1,97	5,88 (K Cl u. Na Cl)

Prof. Gordjagin aus Kasan führt in seinem Werke „Materialien zum Studium der Bodenarten und der Pflanzenwelt Westsibirens“ (1901, S. 166) auf Grund neuerer Untersuchungen, nachstehende analytische Daten für Löss (Mutterboden der Schwarzerde) des Gouvernement Tobolsk an:

	Wassergehalt	In 100 Gewichtsteilen trock. Substanz											
		Humus	CO_2	P_2O_5	SO_3	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
Lösschwarzerde (Okonischnikowo bei Omsk, östlich).												
Horiz. A	4,568	7,577	0,023	0,148	0,113	64,277	13,612	4,747	1,530	1,778	1,772	1,604
Horiz. C	3,370	2,400	3,715	0,150	—	61,102	12,638	4,787	6,506	2,378	1,546	1,275
Lösschwarzerde (Samiralowka bei Omsk, nördlich).												
Horiz. A	5,480	10,815	0,051	0,161	0,119	59,024	13,303	4,969	2,111	2,068	1,905	1,464
Lösschwarzerde (Bolschepestschanskoje, Tükalinsk-Bezirk).												
Horiz. A	5,120	9,585	0,061	0.194	0,079	64,565	11,967	4,520	1,895	1,620	1,741	1,227
Lösschwarzerde (Elstersteppe des Kurgan-Bezirks).												
Horiz. A	5,784	8,072	0,053	0,123	0,120	65,373	12,771	4,688	1,706	1,976	1,344	0,973

Also ergeben die Analyse der natürlichen Lössbodenarten, dass die Gesamtmenge ihrer Kieselsäure zwischen 59—65 % schwankt, indem sie nur zuweilen 70 % erreicht.

Folglich bleibt noch genügend Raum für andere Bodenelemente.

Davon entfällt der grösste Prozentsatz auf Tonerde und Eisenoxyd, dann auf kohlensauren Kalk und Magnesia und der kleinste auf Alkalien und Phosphorsäure.

Der hier in Frage stehende Donetz-Löss nimmt nach seiner chemischen Beschaffenheit, wie aus dem Vergleich analytischer Daten ersichtlich, in der Reihe der Lössbodenarten so ziemlich die Mitte ein.

Er enthält an Kieselsäure etwas über 61 %, an Tonerde und Eisenoxyd gegen 16 % und einen grossen Gehalt an kohlensaurem Kalk (über 15 %).

Allem Anscheine nach erinnert er in dieser Hinsicht an den sächsischen Löss (vergl. analytische Daten von Kaspari und Siegert).

Die Lössabschlämmprodukte ergeben, wie es zu erwarten war, grössere Schwankungen der Kieselsäure, als die Lössbodenarten, und zwar zwischen 38 % (für Lösschlamm) und 84 % SiO_2 (für Lössfeinsand).

Alle übrigen chemischen Bodenelemente verteilen sich entsprechend dem Gehalte SiO_2 im Abschlämmprodukte.

Durch Vergleich der Resultate der chemischen Analyse der einzelnen Lösschlämmprodukte unter einander und mit dem natürlichen Löss kann man sehen, wie die feineren Abschlämmelemente nach und nach sich prozentual bereichern an verhältnismässig leicht verwitternden Verbindungen (Tonerde, Eisenverbindungen, Karbonate, Alkalien) auf Kosten des festeren und dem mechanischen Zerfall nicht leicht zugänglichen Quarzes.

So z. B. enthält das Muster des natürlichen Löss nur 61,23 % SiO_2, seine äusseren mechanischen Elemente 38,98 % (Schlamm) und 84,33 % SiO_2 (Feinsand).

Der Lösschlamm enthält ferner:

Al_2O_3 u. Fe_2O_3	CaO	MgO	CO_2
24,85 %	14,09	5,10	10,11

dagegen der Lössfeinsand:

8,33 %	3,22	0,63	2,47

Die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Lösschlämmprodukte im Verein mit Verminderung

SiO_2 geschieht stufenweise, ohne Sprünge, von den gröberen mechanischen Lössbestandteilen zu den feineren, wie aus der oben angeführten Tabelle leicht ersichtlich.

Daher kann man unter den Lösschlämmprodukten mechanische Korngruppen beobachten, die nach der chemischen Zusammensetzung den einen oder anderen natürlichen Lössbodenarten ähnlich sind.

Wahrscheinlich ist diese Aehnlichkeit kein blosser Zufall und wird vielmehr durch die mechanische Zusammensetzung der Bodenart, d. h. durch bestimmte überwiegende Korngrösse bedingt.

Diese Vermutung wird sich wahrscheinlich durch weitere Untersuchungen und entsprechende mechanische und chemische Analyse bestätigen.

Die Versuchsdaten derselben Tabelle sowie auch die Ergebnisse der Analysen der Podsolschlämmelemente (S. 18) widersprechen der ziemlich verbreiteten Meinung (wenigstens in der russischen Bodenliteratur), dass die gröberen Abschlämmprodukte vollkommen aus Quarzsand bestehen und dass nur die schlammigen Bodenteilchen den ganzen Vorrat der Nährstoffe und die Mannigfaltigkeit der chemischen Zusammensetzung des Bodens enthalten.

II.

Nach den oben angeführten analytischen Daten (S. 18) ist der Podsol dem Löss direkt entgegengesetzt.

Sein Gehalt an Kieselsäure erreicht die grosse Menge von 85,17 %. Bei derartig grossem Quantum an SiO_2 entfällt auf die übrigen chemischen Bodenbestandteile ein verhältnismässig kleiner Prozentsatz. Sogar für die Tonerde und Eisenoxyd erhalten wir nur 8,77 %

Auch eine ganze Reihe anderer chemischer Analysen der russischen Podsolböden (s. unten) zeigt einen

grossen Gehalt von SiO_2 (zwischen 70—90 %) in ihnen und ein verhältnismässig kleines Quantum anderer chemischer Elemente.

So z. B. die mittleren Zahlen der Tonerde und Eisenoxyd in den Podsolböden schwanken zwischen 9—10 %, indem sie für die sandigen Podsolböden bis 4—6 % fallen und für die tonigen bis 13—15 % steigen.

Ebenso charakteristisch für die verschiedenen Podsolarten im allgemeinen, sowie auch für den hier in Betracht kommenden Moskauer Podsol im besonderen, ist der geringe Gehalt an Kalk.

Der Gehalt an Magnesia (1,038 %) ist im Moskauer Podsol etwas geringer als die Kalkmenge, in anderen Podsolarten dagegen überwiegt manchmal die Magnesia den Kalkgehalt (s. S. 24).

Was die Phosphorsäure anbetrifft, so wird ihre Menge in den Podsolarten in den meisten Fällen 0,1 % nicht überschreiten, während Schwefelsäure öfters gar nicht vorhanden ist.

Im Podsolschlamm — dem feinsten Abschlämmprodukte — wurde 0,265 % P_2O_5 festgestellt, d. h. weniger als im Lösschlamm (0,319 %).

Die Alkalien wurden in den Podsolböden selten bestimmt, deshalb lässt sich über ihre Menge nichts Bestimmtes sagen.

Die Analyse des Moskauer Podsolschlammes ergab 9,018 % KCl + NaCl, und wahrscheinlich ist es der höchste Prozentsatz, der nur in den feinsten Abschlämmprodukten vorkommt.

Die Kohlensäure fehlt vollständig oder tritt in hundertstel Prozenten auf.

Zum Vergleiche mit den Ergebnissen der Analysen des Moskauer Podsols und seiner Abschlämmprodukte seien hier einige analytische Daten aus den neueren Arbeiten russischer Forscher angeführt.

Bodenarten	
1. Podsolboden aus Gorki des Gouvern. Mogiljew (Prof. Iljenkow)	—
2. Podsolboden aus Gorki des Gouvern. Smolensk (Grigorjew)	—
3. Sandig-toniger Podsol (Ackerboden) des Gouvern. Smolensk (Prof. Dokutschajew)	a) Dorf Basino b) Dorf Ripschewo
4. Sandiger Podsol des Gouvern. Nischny-Nowgorod [Arsamas-Bezirk] (Mamontow)	—
5. Podsol aus Balachna-Bezirk des Gouvern. Nischny-Nowgorod [sandig-toniger Untergrund] (Analyt. Georgijewsky)	Podsol Untergr.
6. Sandiger Podsol aus Tichwin-Bezirk des Gouv. Nowgorod (Anal. Georgijewsky)	Hor. A Hor. B Hor. C.
7. Sandig-toniger Podsol aus Wladimir-Bezirk (Anal. Lewin)	—
8. Sandig-toniger Podsol aus Tichwin-Bezirk des Gouv. Nowgorod, bei Fichtenwald. Hor. A = graue Farbe. Horiz. B = weiss-graue Farbe. Hor. C = rot-braun, sandig-toniger Untergrund. (Anal. Dobrowolsky.)	Hor. A Hor. B Untergr.C

Die oben angeführten analytischen Daten über Podsolböden sind in der Abhandlung von Herrn Dobrowolsky: „Die Natur und die Entstehung des Podsols nach den Ergebnissen der modernen Bodenkunde“ (Sowjetow und Adamow: „Materialien für Forschung russischer Bodenarten“, Heft XIII, 1900)

SiO_2	Al_2O_3 u. Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O u. Na_2O	P_2O_5
%					
84,361	7,973	0,789	0,09	—	—
82,17	8,08 + 2,05	1,02	0,47	3,95	—
82,13	10,75	1,93	—	—	—
84,53	10,53	1,34	0,27	—	—
90,332	2,96 + 1,419	0,454	0,441	0,411	—
83,72	8,76 + 1,73	1,07	0,52	—	—
70,70	11,90 + 4,90	1,60	0,90	—	—
86,06	7,47 + 1,95	1,24	0,40	—	0,09
91,50	4,81 + 0,68	0,80	0,24	—	0,06
86,50	7,38 + 1,65	1,05	0,348	—	Spur
81,06	9,21 + 1,85	1,11	0,74	1,01 + 0,95	0,08
81,14	9,45	0,62	0,49	—	0,058
79,17	11,31	0,78	0,63	—	0,035
72,80	16,98	1,02	0,76	—	0,066

zusammengefasst. — Ausserdem führt Prof. Gordjagin in seinem Werke „Materialien zum Studium der Bodenarten und der Pflanzenwelt Westsibiriens", 1901, S. 166, folgende Versuchsdaten über die chemische Zusammensetzung eines Podsols des Tükalinsk-Bezirks (Tobolsk-Gouvernement) an:

	SiO_2	CO_2	P_2O_5	SO_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Humus
Grauweisser Podsol am Rand des Birkenwaldes beim Dorf „Ossinowoje". A' + A + B = 20 cm.											
Horiz. A + B	83,394	0,022	0,023	0,015	8,539	1,084	1,098	1,021	1,453	2,065	0,751
C — Lössartiger Untergrund. Das Sieden ist nicht konstatiert bis 50 cm.											
Horiz. C	66,108	0,031	0,139	—	15,544	6,407	1,529	2,310	2,254	2,013	0,830

Bezüglich der Verteilung der chemischen Podsolelemente unter seinen Abschlämmprodukten lässt sich dasselbe feststellen, was in Bezug auf die mechanischen Lösselemente festgestellt wurde. Die Menge der Kieselsäure vermindert sich in der Richtung von den gröberen zu den feineren Partikelchen (für Podsolschlamm 53,66 %, für Podsolfeinsand 89,36 % SiO_2), dagegen steigt die Menge anderer chemischer Bodenbestandteile in derselben Richtung.

Aber die Verminderung der Kieselsäure in den feinsten Podsolschlämmprodukten schreitet nicht so weit, wie in Löss: Podsolschlamm (< 0,001) enthält SiO_2 über die Hälfte (52,66 %), während Lösschlamm nur 38,98 % enthalten.

Diese Tatsache ist ganz besonders zu beachten, denn die schlammigen Partikelchen werden bei Zerstäubung des Bodens am leichtesten vom Winde verweht oder vom Wasser weggeschwemmt; folglich wird der Boden, der für die Pflanzen kostbarsten Nährstoffe beraubt.

Ausserdem gewinnt dieser Umstand noch dadurch an Bedeutung, dass der Prozentsatz an Schlamm-Partikelchen in Lössbodenarten 20 (wie in Böden des

Donetz-Löss) erreicht, während in den Podsolböden 3—5 % nicht übersteigt.

Die Menge an Kalk und Magnesia in den Podsolschlämmprodukten bleibt, im Vergleich mit den entsprechenden Lössprodukten, ebenso klein, wie im Mutterboden: Die äussersten Zahlen sind 3,438 % CaO (für Podsolschlamm) und 1,131 % CaO (für Grobstaub und Feinsand).

Dagegen enthält der Podsolschlamm eine grössere Menge an Tonerde und Eisenoxyd (32,19 %) als der Lösschlamm (24,85 %).

Beim Vergleich der Ergebnisse der Analysen der Löss- und Podsolschlämmprodukte ist die qualitative und bis zu einem gewissen Grade quantitative Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung dieser Produkte von der Korngrösse ihrer mechanischen Bestandteile leicht ersichtlich.

Diese Abhängigkeit basiert allerdings in der chemisch-petrographischen Beschaffenheit des Mutterbodens selbst, der der physikalischen und chemischen Sprengwirkung verschiedener Verwitterungsagentien unterworfen ist.

Im Endresultate zeigten sich die widerstandsfähigeren Elemente, wie Quarz, weniger zerfallen, weniger zerstaubt, als z. B. die Karbonate oder Metalloxyde (Al_2O_3, Fe_2O_3), was auf die chemischen Eigenschaften der Verwitterungsprodukte des Muttergesteins einen Einfluss ausübte.

Den oben erwähnten Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung der Podsol- und Lössschlämmprodukte und ihrer Korngrösse kann man in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Die Menge der Kieselsäure vermindert sich mit der Verkleinerung der Bodenpartikel, wobei im

Löss diese Verminderung weiter geht, als im Podsol (38 % zu 53 %);

2. dagegen mit der Verkleinerung der Bodenpartikel nimmt die Menge der Kohlensäure (CO_2), Phosphorsäure (P_2O_5), Tonerde (Al_2O_3), Eisenoxyd (Fe_2O_3), Kalk (CaO), Magnesia (MgO) und wahrscheinlich der Alkalien zu;

3. die nach Kieselsäure hauptsächlichste Masse der feinsten Lösschlämmprodukte bilden die Kohlensäure-, Kalk- und Magnesiaverbindungen, und

4. in den Podsolschlämmprodukten gehört dagegen der grösste Prozentsatz (nach SiO_2) der Tonerde und den Eisenverbindungen, während die Karbonate gänzlich fehlen.*)

Durch diese Sätze wird die Bedeutung der Korngrösse sowie die der mechanischen Analyse beim Urteil über die chemische Natur der Löss- und Podsolschlämmprodukte und der Böden selbst bestimmt.

Es ist klar, dass durch eine ganze Reihe nacheinander folgender Abschlämmungen nicht nur die mechanische Trennung der Bodenbestandteile erreicht wird, sondern aus der Bodenmasse bestimmte chemische Gruppen abgesondert werden.

Die äussersten Glieder der Reihe der mechanischen Bodenbestandteile unterscheiden sich ihrer chemischen Zusammensetzung nach sehr scharf sowohl von einander als auch vom Mutterboden.

Aber die chemisch-petrographische Zusammensetzung des Mutterbodens übt einen derartig starken Einfluss auf seine sämtlichen Abschlämmprodukte aus, dass keine Möglichkeit vorhanden ist, auf Grund der Korngrösse allein oder der mechanischen Analyse

*) Die in den Podsolprodukten gefundene geringe Menge CO_2 stellt wahrscheinlich eine durch die Podsolteilchen aus der Luft absorbierte CO_2 dar

irgend welche Verallgemeinerungen zu machen oder Schlussfolgerungen zu ziehen, sowohl in Bezug auf die chemische Natur der einen oder anderen mechanischen Elemente verschiedener Bodenarten, als auch -- wenn auch annähernd — in Bezug auf den chemischen Charakter der Bodenarten selbst.

Aus den oben angeführten analytischen Daten ist z. B. ersichtlich, dass die schlammigen Partikelchen des Podsols ebenso viel Kieselsäure enthalten, wie zuweilen der Naturlöss.

Die mechanische Bodenanalyse behält ihre spezielle Bedeutung bei den Bestimmungen der physikalischen Eigenschaften des Bodens, des „physikalischen Tons", des „physikalischen Sandes" und anderer Elemente des Bodenskelets bei.

Das spezifische Gewicht der Bodenkonstituenten und der mechanischen Podsol- und Lösselemente.

I.

Die Daten über das spezifische Gewicht der Bodenkonstituenten spielen eine wichtige Rolle beim Bestimmen des Bodenvolumgewichts und hauptsächlich beim Bestimmen des Hohlraumvolumens resp. des Umfangs der „unterirdischen Wohnstätte" für Pflanzen, d. h. einer physikalischen Bodeneigenschaft, welche die grösste pflanzenphysiologische Bedeutung hat.

Das Gewicht der Volumeinheit des trockenen Bodens nebst seinen Zwischenhohlräumen bezw. sein Volumgewicht auf das Gewicht des gleich grossen Volumens der festen Bodensubstanz (auf das spezifische Gewicht der Bodenbestandteile) bezogen, gibt einen genauen Begriff über das Hohlraumvolumen oder die Bodenporosität.

Daher diente das spezifische Gewicht der Bodenbestandteile, insbesondere seiner hauptsächlichen petrographischen Konstituenten wie Quarz, Kaolin, Kalk seit langer Zeit mehreren Autoren auf dem Gebiet der Bodenkunde als Gegenstand der Untersuchung.

Da einen entschiedenen Einfluss auf die Porosität des Bodens seine mechanische Zusammensetzung (nicht aber sein petrographischer Charakter) ausübt, weswegen physikalische Untersuchungen nicht über die aus dem Boden gewonnenen Partikelchen angestellt wurden, sondern nur über die analogen Elemente der klastischen

Gesteine, scheint es mir nötig, im Folgenden frühere Beweise und Ergebnisse über das spezifische Gewicht und Volumgewicht der Bodenkonstituenten mit meinen Beobachtungen in Bezug auf ebensolche Eigenschaften der mechanischen Podsol- und Lössbestandteile zu vergleichen.

Ueber die Frage gibt schon Schübler in seinem klassischen Werke „Grundsätze der Agrikultur-Chemie", 1830 (II. Teil, S. 62), für die Bodenarten und die hauptsächlichen Bodenkonstituenten Zahlen des spezifischen Gewichtes (s. unten S. 47).

Auf Grundlage seiner Untersuchungen leitet Schübler folgende allgemeine Ergebnisse ab:

1. Der Sand ist sowohl im trockenen als nassen Zustand der schwerste Teil der Ackererde; gewisse feinschieferige Mergelarten nähern sich in dieser Beziehung dem Sand am meisten.

2. Kalksand und Quarzsand sind in dieser Beziehung wenig verschieden; der Kalksand ist unter den gewöhnlichen Bestandteilen der Ackererde der schwerste.

3. Die Tonarten sind desto leichter, je mehr Ton und je weniger Sand sie enthalten und umgekehrt.

4. Die Kalkerde zeigt je nach der Feinheit ihres Korns und Art ihrer Darstellung im Gewicht eine grosse Verschiedenheit; die aus gelöschtem Kalk erhaltene zeigt, auch wieder mit Kohlensäure gesättigt, ein bedeutend geringeres Gewicht. Findet sich die Kalkerde in enger Verbindung mit kohlensaurer Bittererde, wie dieses im Dolomitsand der Fall ist, so zeigt die Verbindung dieser beiden Erden ein weit grösseres Gewicht, als jede dieser beiden Erden in reinem Zustande; das spezifische Gewicht solcher Sandarten steigt bis 2,82 und 2,83.

5. Die kohlensaure Bittererde, wie sie künstlich durch Präzipitation aus ihren Auflösungen erhalten wird, zeigt zwar gegenüber den gewöhnlichen mineralischen Gemengteilen des Bodens das geringste absolute Gewicht; in den Ackererden selbst findet sie sich jedoch nicht in dieser feinen Form, sondern gewöhnlich in Verbindung mit Kalk und Kieselerde; in diesen beiden Verbindungen hat sie mehr dichte Formen, deren physische Eigenschaften sich mehr denen des Sandes nähern.

6. Der Humus hat unter den gewöhnlichen Bestandteilen das geringste spezifische Gewicht und wenn wir die künstlich dargestellte reine Bittererde ausnehmen, auch das geringste absolute Gewicht.

7. Zusammengesetzte Ackererden sind in der Regel desto leichter, je reicher sie an Humus sind.

8. Die beim Landmann gewöhnliche Benennung eines schweren oder leichten Bodens bezieht sich weder auf das spezifische noch absolute Gewicht der Erden; die Tonarten sind sowohl im trockenen, als nassen Zustande leichter, als die Sandarten, diese Benennungen beziehen sich vielmehr auf die verschiedene Konsistenz der Erden.

Die Untersuchungen Trommers über das spezifische Gewicht („Die Bodenkunde“ 1857 S. 258—259) führen zu dem Schlusse, dass die humosen Bestandteile der Ackerkrume das geringste spezifische Gewicht haben; hierauf folgt der Ton und der Kalk, dieser indessen in fein verteiltem und nicht in körnigem oder derbem Zustande. Dann folgt der Quarzsand und obenan stehen die krystallinischen und derben Modifikationen des kohlensaueren Kalkes und der kohlensaueren Talkerde.

In der Arbeit v. Liebenberg's „Ueber das Verhalten des Wassers im Boden“ (1873) sind die

spezifischen Gewichte vieler Bodenarten bestimmt worden.

Die Resultate der Untersuchungen von v. Liebenberg zeigen deutlich, dass keine gesetzmässigen Beziehungen zwischen der mechanischen Zusammensetzung der Versuchsmaterialien und ihrem spezifischen Gewicht bestehen.

Einen wie grossen Einfluss auch die mechanische Zusammensetzung auf das Volumgewicht des Bodens ausübt, so ist dennoch ihre Rolle hierbei nicht bemerkbar.

Solchergestalt zeigt das spezifische Gewicht als Funktion von der chemischen Zusammensetzung des Bodens zu allererst die chemische Natur dieses letzteren an, und folglich kann nur die chemische Zusammensetzung als Schlüssel für die Erklärung der Mannigfaltigkeit im spezifischen Gewicht der Bodenarten dienen.

Die in diesem Sinne gemachten Untersuchungen Wollny's über die chemisch gleichartigen Materialien und ihre Mischungen geben bessere Resultate.

Die Untersuchungen Wollny's lieferten folgende Ergebnisse:*)

	Spez. Gewicht
Quarz	2,622
2/3 Quarz + 1/3 Humus . .	2,453
1/3 Quarz + 2/3 Humus . .	2,287
Humus	1,462
2/3 Humus + 1/3 Ton . . .	1,931
1/3 Humus + 2/3 Ton . . .	2,279
Ton	2,503
2/3 Ton + 1/3 Quarz . . .	2,549
1/3 Ton + 2/3 Quarz . . .	2,583

*) Wollny, „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik." 1885. B. VIII., S. 346—349.

	Spez. Gewicht
Quarzsand	2,639
Lehm	2,622
Eisenoxydhydrat	3,728
Gyps (gefällt)	2,318
Kalksteine (krystallinisch) . .	2,756
Kalksand (humusfreier) erdig .	2,699
Kohlensaurer Kalk (gefällt) .	2,678
Humoser Kalksand	2,406

Aus diesen Zahlen leitet Wollny nachstehende Schlussfolgerungen ab:

1. Der kohlensaure Kalk besitzt das höchste spezifische Gewicht, dann folgt der Quarz, dann der Ton, während der Humus die geringste Dichte besitzt.

2. Bei Gemischen der Bodenkonstituenten ist das spezifische Gewicht um so kleiner, je höher der Humusgehalt und um so höher, je grösser die von Boden eingeschlossenen Quarzmengen sind.

3. Das spezifische Gewicht des Bodens nimmt mit dem Eisengehalt zu und ab.

4. Endlich bei einer Vergleichung der spezifischen Gewichte der Materialien, welche den kohlensauren Kalk in verschiedenen Zuständen enthalten (krystallinisch, erdig, gefällt) zeigt sich deutlich, dass die Dichte eines und desselben Bestandteiles je nach der Textur Schwankungen unterliegt und dass dieselbe bei derberem Gefüge höher ist, als bei lockerem.

II.

Die oben dargelegten Ergebnisse Schübler's, Wollny's u. and. stimmen nur teilweise in Bezug auf das spezifische Gewicht des Podsol-, Lössbodens und ihrer Abschlämmprodukte, teilweise bedürfen sie einiger Ergänzungen und Zusätze, wie aus dem

hierauf bezüglichen, unten angeführten Zahlenmaterial zu ersehen ist.

Vor der Betrachtung der Daten über das spezifische Gewicht des Podsol- und Lössbodens, sowie ihrer mechanischen Elemente und der Vergleichung der ermittelten Resultate mit den vorigen Beobachtungen und Ergebnissen wollen wir jedoch noch etwas auf die hier angewandte Methode zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der genannten Materialien eingehen.

Das spezifische Gewicht der, wie oben erwähnt, gewonnenen mechanischen Podsol- und Lössbodenbestandteile wurde in Pyknometern nach der folgenden Formel bestimmt:

$$D = \frac{P}{P + p_1 - p_2} = 0{,}998988\,\delta,$$

wo D das gefundene spezifische Gewicht bei + 16° C.
δ das im Wasser von + 4° C reduzierte spezifische Gewicht,
0,998988 die Dichtigkeit des Wassers bei + 16° C.,
P das absolut (+ 105° C) trockene Substanzgewicht,
p_1 das Gewicht des Pyknometers nebst destilliertem Wasser bei 16° C,
p_2 das Gewicht des Pyknometers nebst destilliertem Wasser und Substanz bei 16° C ist.

Daher wurde etwa 5 g Substanz zuerst in einer Porzellanschale bis zur völligen Entfernung der Luftbläschen (was manchmal eine Stunde erforderte) aufgekocht, darauf mittels eines Strahles heissen vorher durchkochten Wassers in das Pyknometer übertragen und in diesem abermals 5 – 10 Minuten gekocht.

Ferner wurde das Pyknometer nebst der Substanz unter der Glocke einer Luftpumpe bis zur Laboratoriums-

temperatur abgekühlt und vor dem Abwägen auf eine Viertelstunde in eine Wasserwanne von beständiger Temperatur (+ 16° C) versenkt.

Die spezifischen Gewichte, die als Mittel von zwei bis drei nahe übereinstimmenden Bestimmungen gefunden wurden, sind in nachstehender Tabelle zu finden.

Materialien.	Spez. Gewicht.	
I. Abschlämmprodukte:	Lössteilch.	Podsolteilch.
Schlammteilchen (< 0,001 mm)	2,755	2,669
Feinstaub (0,001—0,005)	2,744	2,666
Mittelstaub (0,005—0,01)	2,705	2,686?
Grobstaub (0,01—0,05)	2,688	2,658
Feinsand (0,05—0,25)	2,686	2,662
Grobstaub u. Feinsand (Mischung 0,01—0,25)	2,687	2,659

II. Bodenarten:	Spez. Gew.
Natürlicher Podsolboden	2,682
Durchsiebter „ (< 3 mm)	2,674
„ „ (< 0,25)	2,664
Lössboden (< 0,25 mm)	2,727
Schwarzerde	
a) gewachsene Schicht	2,614
b) Uebergangsbodenschicht (0,5 m Tiefe)	2,683
c) Untergrund (1 m Tiefe)	2,721

Die angeführten Zahlen zeigen ein grösseres spezifisches Gewicht für den Lössboden und seine mechanischen Bestandteile als für den Podsol und seine mechanischen Elemente. In demselben zeigte sich vornehmlich der Unterschied ihrer chemischen Zusammensetzung: Lössboden ist reich an schwererem kohlensaurem Kalk, Podsolboden dagegen an leichterem Quarz.

Die Vergleichung dieser Daten mit den Resultaten der vorigen Forschungen ergibt, dass der Lössboden und seine feinkörnigen Partikel sich (nach dem spezifischen Gewicht) den an krystallinischem kohlensaurem Kalk reichhaltigen Gesteinen nähern.

So ist z. B. das spezifische Gewicht des

krystallinischen Kalksteins .	2,756	(nach Wollny)
Kalksands	2,722	(„ Schübler)
krystallinischen Kalksands .	2,813	(„ Trommer)
Dolomitsands	2,893	(„ Trommer)
Marmorpulvers	2,720	(„ Lang).

Indessen ergibt die Dichtigkeit der mechanischen Podsolbestandteile folgende dem spezifischen Quarzgewichte nahekommende Zahlen:

	Spez. Gew.
Quarzsand nach Wollny . . .	2,639
„ „ Schübler . .	2,653
„ „ Lang	2,640

Die Daten der chemischen Analyse (in Tab. S. 17 u. 18) können als Schlüssel zur Erklärung sowohl des höheren spezifischen Gewichtes des Lössbodens, als auch der stufenweisen Vergrösserung der Dichte von seinen gröberen mechanischen Bestandteilen zu den feinsten dienen.

Wie man aus der Tabelle sieht, sind der Löss und seine mechanischen Bestandteile an kohlensaurem Kalk und an Eisenverbindungen reicher als Podsol und seine feinkörnigen Abschlämmprodukte und umgekehrt an Quarz ärmer.

Die feinsten Partikeln des Podsol- und Lössbodens (Feinstaub und Schlammteilchen) erinnern, wie schon erwähnt, in ihren physikalischen Eigenschaften völlig an das Kaolin — wasserhaltige kieselsaure Ton-

erde ($Al_2O_3\,2SiO_2\,.\,2H_2O$ oder $Al_2O_3\,4SiO_2\,.\,3H_2O$) — aber weder nach ihrer chemischen Zusammensetzung noch nach ihrem spezifischen Gewichte sind sie ihm ähnlich.

Für Ton in diesem Sinne sind die gefundenen Zahlen des spezifischen Gewichtes viel kleiner als die oben aufgeführten Daten der Dichtigkeit für den Lössschlamm (2,755) und Podsolschlamm (2,669), und zwar:

Das spezifische Gewicht

der Porzellanerde	2,503	(nach Wollny)
des grauen Tons	2,533	(„ Schübler)
„ weissen Tons	2,440	(„ Schübler)
„ Tons in reinem Zustande	2,452	(„ Trommer)
„ Kaolins	2,470	(„ Lang).

Folglich haben wir hier ein Beispiel des „physikalischen Tons", ebenso in den gröberen Lösspartikeln (0,01—0,25 mm) das Beispiel des Sandes im physikalischen Sinne.

Es ist notwendig, zu bemerken, dass die reichliche Beimischung schlammiger Teilchen (20 % und mehr) den feinerdigen Bodenarten (wie einige Lössbodenarten der Donetzflussregion) den Charakter der schweren Tonböden gibt.

In diesem Falle bezieht sich der Ausdruck „schwerer Boden", im Gegensatz zu dem „leichten" quarzsandigen Boden, ebenso auf sein spezifisches Gewicht, wie auch auf jenen Widerstand, den die tonigen Bodenarten überhaupt der Bearbeitung leisten.

Zwar vermindern Humusstoffe ziemlich merkbar das spezifische Gewicht der gewachsenen Lössbodenschicht durch das Austreiben der Kohlensäure aus ihren Verbindungen, doch ist diese Verminderung nicht gross genug, um den Lössboden seinem spezifischen Gewichte nach den Tonarten nähern zu können.

So gab z. B. eine Schwarzerde, für die der hier untersuchte Löss als Muttergestein dient, die folgenden im Vergleich zum Löss kleineren Zahlen des spezifischen Gewichtes:

die gewachsene Schwarzerdeschicht . . .	2,614
die Uebergangsbodenschicht (0,5 m Tiefe) .	2,683
der Untergrund (1 m Tiefe)	2,721
der Löss (Muttergestein, etwa 2 m Tiefe von Bodenoberfläche)	2,727

Infolge dessen kann man nicht auf die an Kalksand und „physikalischem Ton" reichen Bodenarten (wie angenannten Lössboden) Schübler's Schlussfolge anwenden, dass die gewöhnliche Benennung eines schweren oder leichten Bodens sich auf das spezifische Gewicht der Erden nicht bezieht und dass die Tonarten leichter sind als die Sandarten.

Die Ergebnisse Wollny's werden in Bezug auf den kohlensauren Kalk und die Eisenverbindungen durch die Resultate dieser Untersuchung bestätigt: das spezifische Gewicht der feineren Lössteilchen vergrössert sich augenscheinlich in Abhängigkeit von der grösseren in ihnen befindlichen Menge kohlensauren Kalks und der Eisenverbindungen.

Man muss hier auf eine beim ersten Anblick paradoxe Erscheinung aufmerksam machen: die schwereren schlammigen Lössteilchen sinken im Wasser langsamer, als die leichteren sandigen Partikeln.

Aus den vorstehend angeführten Daten über das spezifische Gewicht des Podsol- und Lössbodens sowie ihrer Abschlämmprodukte geht folgendes hervor:

1. Das spezifische Gewicht des Löss und seiner mechanischen Elemente ist ein höheres als das des Podsolbodens und seiner mechanischen Bestandteile;

2. das spezifische Gewicht der Lösschlämmprodukte vergrössert sich in Abhängigkeit von der Verteilung kohlensaueren Kalks von den gröberen mechanischen Partikeln bis zu den feinsten;

3. das spezifische Gewicht der mechanischen Podsolbestandteile, in Verbindung mit der Einteilung seiner petrographischen und chemischen Elemente, nimmt vom Grobstaub an (0,01—0,25 mm) zu, sowohl nach den feinsten Schlammteilchen, als auch nach den grobkörnigen Bestandteilen hin;

4. das spezifische Gewicht des natürlichen Podsolbodens ist höher als das der auf Sieben von 0,25 mm und 3 mm Lochweite durchsiebten Podsolteile;

5. das spezifische Gewicht des Lössbodens nimmt regelmässig vom Untergrunde (Muttergesteine) bis zur Oberfläche ab.

Zum Schlusse ist noch zu bemerken, dass die reduzierende Wirkung der Humusstoffe und die Auswaschung der obersten Lösschichten neben Abwehen und der Abschlämmung der schwereren und pflanzenphysiologisch kostbaren feinkörnigen Lössteilchen die Verkleinerung des spezifischen Gewichtes der obersten Bodenschichten nach sich zieht.

Zu solchem Vorgange trägt besonders das Verstäuben bei schlechter Bearbeitung der obersten Ackerkrume bei.

Die Dichte des Bodens und das Volumgewicht der Podsol- und Lösschlämmprodukte.

I.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes, d. h. der Beziehung zwischen den Gewichten gleichgrosser Substanz- und Wasservolumina bei bestimmten Temperatur- und Druckverhältnissen, wird in Bezug auf Bodenarten infolge ihrer ungleichartigen mechanischen Zusammensetzung erschwert.

In der Bodenmasse sind die Elemente verschiedener „Sphären" (Atmosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre, Lithosphäre) durcheinander gemischt. Es ist klar, dass die Vergleichung nach Gewicht solcher mannigfaltigen und immer schwankenden Mischungen mit einer spezifischen Gewichtseinheit nur bedingungsweise möglich ist.

Gewöhnlich versteht man unter „spezifisches Bodengewicht" ein spezifisches Gewicht der festen Bodenbestandteile.

Hat man mit natürlichen Bodenarten und Bodenbildungen zu tun, so bestimmt man gewöhnlich ein Gewichtsverhältnis zwischen den gleichgrossen Wasser- und Bodenvolumina entweder bei einer natürlichen oder (im Laboratorium) künstlich hergestellten Bodenlagerung.

Aber da das Volumen einer und derselben Bodenart von der dichteren und lockereren Lagerungsweise sowie von der Grösse der Bodenteilchen und der Bodenkrümelchen zwischen grossen Grenzen schwanken

kann, so können auch die ziffermässigen Ausdrücke der Bodendichte, als Verhältnis der Substanzmasse zu ihrem Volumen, sogar für eine und dieselbe Bodenmasse sehr verschieden sein. Daher sind die Ausdrücke zur Bezeichnung der möglichen Dichtigkeitsstufen des Bodens: spezifisches Gewicht des Bodens (d. h. spezifisches Gewicht der festen Bodenteilchen), Volumgewicht (absolutes, scheinbares spezifisches Gewicht), grösstes (Maximal-) Volumgewicht, kleinstes (Minimal-) Volumgewicht u. s. w.

Im idealen Falle, wenn die festen Bodenteilchen alle Hohlräume so erfüllen, dass weder Lücken, noch Poren vorhanden sind, bezeichnet das Verhältnis des Gewichtes der Bodenmasse zu ihrem Volumen die Bodendichtigkeit.

Im realen Falle, d. h. wenn die mechanischen Bodenbestandteile unter dem Einflusse der natürlichen oder (im Laboratorium) künstlichen Bedingungen nicht alle Höhlräume einnehmen und folglich viele Lücken und Poren bleiben, bezeichnet das Verhältnis zwischen dem Gewichte der Bodenmasse und ihrem Volumen die Dichte des Bodens unter den gegebenen Bedingungen der Bodenlagerung.

Dieses Verhältnis, das man im allgemeinen Falle durch eine Formel

$$q = \frac{P}{V} = \frac{\text{(Gewicht der trockenen Bodenmasse)}}{\text{(Volumen derselben mit oder ohne Zwischenräume)}}$$

bezeichnen kann, wird für eine bestimmte Bodenart bei $V_{min.}$ (wenn P konstant ist) am grössten (wie erster idealer Fall) und am kleinsten sein, wenn der Boden, bei seinem vollen Verstäuben und dem Beseitigen jedes Zementes zwischen Bodenteilchen, die grösste Menge des Poren und Lücken ($V_{max.}$) ergibt.

Dieser letztere Fall ($V_{max.}$ bei konstant P) ist nur denkbar, weil eine derartige Lage der mechanischen Bodenbestandteile nur momentan labil sein kann, und die Bestimmung $V_{max.}$ ist im Gegensatz zum ersten Falle (wo das Volumen der festen Bodenteilchen ($V_{min.}$) leicht befunden wird) unmöglich. Daher blieb die Frage über das kleinste Volumgewicht des Bodens unbeantwortet.

Aus den dazwischen liegenden Fällen hat die Bestimmung der Dichte des natürlichen Bodens das grösste Interesse, dann die des Kulturbodens bei verschiedenen Stadien seiner Bearbeitung und der folgenden natürlichen Zusammenpressung der Bodenmasse und endlich die Bestimmung im Laboratorium des grössten und kleinsten Volumgewichts als Masstab für die äussersten Fälle der möglichsten Pressung und Lockerung eines gewissen Bodens.

Die ganz genaue Bestimmung der Dichtigkeit der festen Bodenbestandteile (d. h. der grössten Bodendichte) kann als Anfangsgrund für die Kenntnis des Bodenvolumgewichtes dienen, sowohl bei den Bedingungen der natürlichen Bodenlagerung, als auch bei künstlicher Pressung und Lockerung der Bodenmasse im Felde und Laboratorium.

Wenn die Schwankungen des Volumgewichtes schon für ein und denselben Boden, wo das spezifische Gewicht der Bodenteilchen wenigstens beständig bleibt, gross sind, so differieren sie für verschiedene Bodenarten noch mehr, denn die Grösse des Volumgewichtes wird sich in diesem Falle durch die Doppelreihe von Ursachen ändern.

In der allgemeinen Formel zur Bestimmung des Volumgewichtes

$$q = \frac{P}{V}$$

wird in der Tat q als Funktion von zwei Veränderlichen sich in der Abhängigkeit von Aenderungen

1. des Gewichtes P und
2. des Volumens V

(unter anderen gleichen Bedingungen) verändern.

Für eine und dieselbe Bodenart wird das Gewicht P durch jene chemisch-physikalischen Prozesse, die im Boden vor sich gehen und im Laufe der Zeit ihre chemische und mechanische Zusammensetzung modifizieren, nur langsam geändert.

Für die Böden von verschiedener chemischer Zusammensetzung wird P in seiner Abhängigkeit vom spezifischen Gewichte der mechanischen Bodenbestandteile schwanken und in demselben Sinne wird das Volumgewicht des Bodens sich verändern.

Ausserdem werden die Ursachen, welche, ohne ein gegebenes Bodenvolumen zu stören, die Bodenmasse dieses Volumens vermehren oder vermindern (so z. B. die Auswaschung oder Besetzung der Poren und Lücken mit Wasser, Lösungen und Feinteilchen), die Grösse P und zusammen mit dieser das Bodenvolumgewicht verändern.

Die andere Veränderliche V des Volumgewichtes wird ihrerseits von mehreren Ursachen geändert.

Die festen Bodenteilchen allein nehmen bereits durch Veränderungen der Temperatur und des Druckes in gewissen Grenzen an Umfang zu oder ab.

Für die Bodenarten, als Aggregate der mechanischen und Strukturelemente mit Pflanzen- und Tierresten sowie mit Wasser und Gasen untermischt, breiten diese Grenzen sich weit aus.

Durch die Wirkung der Schwer- und Molekularkräfte, der Verwitterungsfaktoren, der mechanischen Bearbeitung durch Ackergeräte u. s. w. werden die

Bodenpartikel von bestimmtem Gewicht P — je nach ihrer Form und Grösse sowie nach ihrer Fähigkeit, grössere oder kleinere Mengen von Wasser und Gasen aufzunehmen — in Aggregate von endlos verschiedenartigem Umfange zusammengelegt.

Hieraus kann das Volumen V, als Funktion einer derartig grossen Zahl von Veränderlichen, zwischen einer beständigen Grösse (die gleich dem Umfange der festen Bodenteilchen ist) bis zur Unendlichkeit schwanken.

Um somit die Vergleichungszahlen des Bodenvolumgewichtes, als Funktion der beiden Veränderlichen P und V, zu erhalten, muss man die Bestimmung dieser Grössen unter streng gleichartigen, früher festgesetzten Bedingungen vornehmen.

Da verschiedene Gewichte P_1, P_2, P_3 ... einem bestimmten Volumen V der festen Teilchen des einen oder anderen — der chemischen Zusammensetzung nach — ungleichen Bodens und verschiedene Volumina V_1, V_2, V_3 ... zu derselben Zeit einem gegebenen Gewichte P einer Bodenart entsprechen, je nachdem es die Grösse, Form, Lagerungsweise der mechanischen und Strukturbodenteilchen mit sich bringen, so wird begreiflicherweise die Vergleichung der verschiedenen Bodenarten nur dann möglich sein, wenn die Werte P und V für die untersuchten Böden unter gleichartigen Bedingungen bestimmt sind.

Die veröffentlichten Untersuchungen über das Volumgewicht der Bodenarten wurden unter verschiedenen Bedingungen ausgeführt, darum sind ihre Resultate schwer vergleichbar und dienen nur als Experimentaldaten zur Bestätigung der Folgerungen aus der Formel $q = \frac{P}{V}$ des Volumgewichtes.

II.

In Bezug auf das Volumgewicht der Bodenarten werden die ersten Aufzeichnungen in der oben zitierten Abhandlung Schüblers „Grundsätze der Agrikulturchemie“ (T. II, S. 62) gefunden.

Schübler bestimmte das Gewicht der verschiedenen Bodenmaterialien bei beständigem Volumen V = 1 Kubikfuss sowohl im trockenen als auch im nassen Zustande. Die Trocknung wurde bei 50° R und die Durchfeuchtung bis zur vollständigen Sättigung vorgenommen.

Das Resultat ergab, dass der Sand ein grösstes, der Humus ein kleinstes Volumgewicht besitzt. Der Ton nimmt in dieser Beziehung eine Mittelstellung ein.

Somit entspricht für diejenigen Bodenkonstituenten, welche sich, wie z. B. Kalksand, Quarzsand, Ton, Humus, ihrer Dichtigkeit nach scharf unterscheiden, das Volumgewicht einer Bodenmasse dem spezifischen Gewichte ihrer mechanischen Bestandteile.

Für andere, von Schübler untersuchten, Materialien zeigt sich weder eine derartige Beziehung noch kann man sie aufsuchen, denn das Volumgewicht der Einzelkörner ist eine Funktion sowohl des spezifischen Gewichtes der mechanischen Teilchen als auch ihrer Grösse, Form und Lagerungsweise. Demnach wird die Menge der Poren und Lücken in der Volumeneinheit bei gleichförmiger Anfüllung der Gefässe mit verschiedenen Bodenmaterialien immer ungleich sein, und wird nur bei einem und demselben Porositätsprozent das Volumgewicht der Bodenmasse ihrem spezifischen Gewichte gänzlich proportional sein.

Dass der Umfang der Poren und Lücken an einem Kubikfusse der Bodenmaterialien Schüblers ungleich war, bestätigt die Vergleichung der Volumgewichte derselben Materialien im trockenen und im nassen Zustande.

Die unten folgende Tabelle zeigt, dass die Zunahme des Wassers, welches die Hohlräume zwischen den Bodenpartikeln anfüllte, unregelmässig war, wie das Volumen der Hohlräume selbst schwankte.

Die Resultate der Schüblers Untersuchungen nebst Daten über die Wassermenge in 100 Teilen der Trockensubstanz sind nach der Grösse des spezifischen Gewichtes der Versuchsmaterialien in nachstehender Tabelle angeführt.

Volumgewicht Schübler's „Erdarten":

Erdarten	Spez. Gewicht	Gewicht ein. Pariser Kubikfusses im trocken. Zustande	Gewicht ein. Pariser Kubikfusses im nassen Zustande	Wasser an 100 Gewichtsteilen Trock.-Substanz
		Pfd.	Pfd.	%
Kalksand	2,722	113,6	141,3	24,38
Quarzsand	2,653	111,3	136,1	22,28
Feinschiefriger Mergel	2,631	112,0	140,3	25,27
Lettenartiger Ton	2,601	97,8	129,7	32.62
Lehmartiger Ton	2,581	88,5	124,1	40,23
Klayartiger Ton	2,560	80,3	119,6	48,94
Reiner grauer Ton	2,533	75,2	115,8	53,99
Feine kohlensaure Kalkerde	2,468	53,7	103,5	93,49
Fein. weiss. Ton (Pfeifenerde)	2,440	47,9	102,1	113,15
Ackererde	2,401	84,5	119,1	40,95
Gartenerde	2,332	68,7	102,7	49,49
Gypserde	2,331	91,9	127,6	38,84
Feine kohlensaure Bittererde	2,194	15,8	76,3	382,91
Humus	1,370	34,8	81,7	134,74

Die nachfolgenden Versuche von Meister*) und A. v. Liebenberg**) bekräftigen im allgemeinen, dass humusreiche Böden zu den leichtesten, sandige zu den

*) Meister, Programm des Jahresberichtes 1857/58 der kgl. landw. Zentralschule zu Weihenstephan, S. 1.

**) A. v. Liebenberg: Ueber das Verhalten des Wassers im Boden. Halle 1873, S. 6.

schwersten Bodenarten gehören, während die tonreichen nach dem Volumgewicht in der Mitte stehen.

Damit im Zusammenhang zeigten die Versuche von Liebenberg nur wenige Beziehungen des spezifischen Gewichtes zu dem Volumgewichte, wie aus nachstehender von ihm zusammengestellten Tabelle zu ersehen ist.

Volum- und spezifisches Gewicht der Bodenarten von A. v. Liebenberg.

	Spez. Gew.	Volumgew.
Lösslehm	2,34	1,253
Sandmoorboden	2,46	0,954
Porphyrboden	2,59	1,347
Rotboden	2,59	1,305
Lösslehm humoser	2,59	1,221
Porphyrboden	2,61	1,336
Lössmergel	2,61	1,335
Diluviallehm	2,64	1,411
Auelehm (Untergr.)	2,64	1,170
Melmlehm	2,65	1,280
Melmmergel	2,66	1,280
Auelehm	2,67	1,174
Muschelkalkboden	2,68	1,268
Grober Tertiärsand	2,68	1,795
Feiner Tertiärsand	2,68	1,447
Diluvial-Lehmmergel	2,68	1,420
Grober Diluvialsand	2,70	1,715
Mittelfeiner Tertiärsand	2,71	1,667
Feiner Diluvialsand	2,72	1,615
Tertiärton	2,74	1,195
Basaltboden	2,76	1,100
Granitboden	3,04	1,130

Angesichts der Unzulänglichkeit der Versuchsdaten für die Erklärung der Ursachen, welche einen Einfluss auf die Lagerungsweise der Bodenpartikel und

folglich auf das Volumgewicht der Bodenarten ausüben, hat sich Wollny veranlasst gesehen, eine grosse Reihe von neuen Untersuchungen auszuführen, deren Resultate in Band VIII seiner „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik“ und kürzlich in Lueger „Lexikon der gesamten Technik“ (II, S. 516) verzeichnet sind.

Wollny erforschte einzeln den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Bodenvolumgewicht und zwar:

1. der Grösse der Bodenteilchen,
2. der Einzelkorn- und Krümelstruktur,
3. der Lagerungsweise der Bodenteilchen,
4. der Bodenkonstituenten (Quarz-, Ton, Humus) und ihrer Gemische,
5. des Stein-, Eisen- und Wassergehaltes sowie der Luftmenge im Boden.

Die Resultate seiner Untersuchungen fasste Wollny auf Grund der grossen Versuchsreihe darin zusammen:

1. „Dass das Volumgewicht um so grösser ist, je gröber unter sonst gleichen Verhältnissen die Bodenteilchen sind;

2. dass das Gemisch der verschiedenen Kornsortimente ein grösseres Volumgewicht besitzt, als jedes einzelne derselben;

3. dass das Volumgewicht des Bodens durch Krümelung beträchtlich vermindert wird, und zwar um so mehr, je gröber die Krümel sind;

4. dass der Boden ein um so höheres Volumgewicht besitzt, je fester derselbe zusammengepresst wurde;

5. dass von den Bodenkonstituenten der Quarz das höchste, der Humus das geringste und der Ton ein mittleres Volumgewicht besitzt;

6. dass das Volumgewicht der Bodengemische um so höher ist, je mehr der Quarzgehalt vorwiegt,

und dass dasselbe um so kleiner ausfällt, je grösser der Humusgehalt ist, ferner, dass das Gewicht der Gemische von Ton und Humus um so grösser, dagegen in Gemischen von Ton und Quarz um so kleiner ist, je höher der Tongehalt;

7. dass die Volumgewichte der Bodenarten mit dem spezifischen Gewicht steigen und fallen, (z. B. das Volumgewicht des Bodens nimmt mit dem Eisengehalt zu);

8. dass der Quarzsand bei gleicher Korngrösse ein höheres Volumgewicht besitzt, als der Kalksand (Isarkalksand mit 85,6% kohlensaurem Kalk) und

9. dass das Volumgewicht mit dem Wassergehalt steigt, und zwar in um so stärkerem Grade, je grösser die Wasserkapazität des Bodens ist."

Ein Widerspruch zwischen dem ersten und dritten Satze, d. h. eine scheinbar unvereinbare Wirkung der mechanischen Bodenpartikeln und der Strukturkrümelchen auf das Bodenvolumgewicht, erklärt Wollny dadurch „dass die Bodenteilchen sich um so weniger dicht aneinander zu lagern vermögen, je feiner dieselben sind" (Forschungen B. VIII, S. 355), dagegen wird „durch Krümelung eine mehr oder weniger grosse Anzahl luftführender Lücken im Boden gebildet und die kleineren Bröckchen bewirken eine bessere Raumerfüllung, als die gröberen" (ibid. S. 356). Mit anderen Worten: kleine Krümelchen vermögen dichter, kleine Partikeln degegen weniger dicht sich aneinander zu lagern als die gröberen.

Mit einer derartigen Definition des Wertes der Grösse der mechanischen und Strukturelemente für das Bodenvolumgewicht kann man sich umsoweniger einverstanden erklären, als die Mischungen der verschiedenen Korngrössen sowohl der mechanischen Bodenpartikeln als auch der Strukturkrümelchen

ein grösseres Volumgewicht besitzen, als jedes einzelne Kornsortiment. D. h. die feineren Partikeln vermögen, ebenso wie die kleineren Krümel, in diesem Falle die Hohlräume zwischen den gröberen Elementen auszufüllen.

Dies kann man aus den nachstehenden Tabellen von Wollny sowie aus der Tabelle für das Volumgewicht des Podsol- und Lössboden (S. 56) ersehen.

Versuchsdaten von Wollny:

I.

Sortiment des Quarzsandes	Volumgewicht
1. 0,00—0,25 mm . . .	1,689
2. 0,25—0,50 „ . . .	1,706
3. 0,50—1,00 „ . . .	1,733
4. 1,00—2,00 „ . . .	1,743
5. Gemisch von 1—4*) .	1,877

II.

1. 0,010—0,071 mm .	1,4192
2. 0,071—0,114 „ .	1,4417
3. 0,114—0,171 „ .	1,5610
4. 0,171—0,250 „ .	1,6024
5. 0,250—0,500 „ .	1,6444
6. 0,500—1,000 „ .	1,6639
7. 1,000—2,000 „ .	1,6914
8. Gemisch von 1—7 .	1,8216

III.

1.	Lehmpulver 0,00—0,25 mm . .	1,246
2.	Lehmkrümel 0,50—1,00 „ . .	1,062
3.	„ 1,00—2,00 „ . .	1,056
4.	„ 2,00—4,00 „ . .	1,042
5.	„ 4,00—6,75 „ . .	1,032
6.	„ 6,75—9,00 „ . .	1,016
7.	„ Gemisch 2—7 . .	1,178

*) In gleichen Teilchen dem Volumen nach.

In Bezug auf das Volumgewicht der Bodenmasse spielt somit die Korngrösse der mechanischen oder Strukturelemente allein keine Rolle.

Vielmehr ist in diesem Falle — ausser der Zusammenpressung oder Lockerung und Verdünnung mit Wasser, Luft u. dergl. — noch von Bedeutung

a) die Form der Bodenteilchen,
b) der Charakter ihrer Oberfläche (d. h. die Beziehung zwischen ihrer Flächen- und Volumengrösse) und
c) die mechanische Zusammensetzung im Sinne eines mehr oder weniger weiten Verhältnisses zwischen gröberen und kleineren Elementen der Bodenmasse.

Zu diesem Ergebnis führt (ausser dem oben erwähnten Widerspruch) eine gewisse mathematische Berechnung, dass die Beziehung des Volumens der Masse zum Volumen ihrer Zwischenräume beständig bleibt, wenn die Partikeln der Masse gleiche Grösse — gleichgiltig welcher Art — und eine regelmässige Gestalt besitzen (Ramann, Soyka, Lang*), sowie die nachstehenden Versuchsdaten für das Volumgewicht der mechanischen Podsol- und Lösselemente.

III.

Zu diesen Daten ist jedoch im voraus noch zu bemerken, dass das Volumgewicht der genannten Materialien bei möglichstem Zusammenpressen der Masse nur durch ihre Benetzung mit Wasser und Austrocknung im Laboratorium und Luftbad bestimmt wurde.

Hierzu wurde das lufttrockene Material mit

*) Prof. Dr. E. Ramann. Die Bodenkunde u. Standortslehre.
Prof. Dr. Soyka. Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. „Forschungen“ von Wollny, Bd. VIII.
C. Lang. „Forschungen“, Bd. I. S. 122.

destilliertem Wasser bis zur teigartigen Masse befeuchtet, dann wurden aus demselben kleine Ziegeln, gewöhnlich in doppelter Zahl (zu Parallelbestimmungen), formiert. Die Ziegeln wurden gleich im feuchten Zustande gewogen, darauf getrocknet, gemessen und wiederum gewogen.

Daher lassen die gefundenen Zifferndaten sowohl über die anfängliche Feuchtigkeit der Ziegeln als auch über die Volumenveränderungen derselben durch Austrocknung ein Urteil zu.

Man fand dann, dass die Feuchtigkeit der frischen Ziegeln für verschiedene Materialien nicht gleich war: die aus den schlammigen Elementen bereiteten Ziegeln besassen die grösste Feuchtigkeit, die sandigen die kleinste.

Die Resultate sind in Gewichtsprozenten der absolut trockenen Bodensubstanz aus nachstehender Tabelle zu entnehmen:

Die Feuchtigkeit der frischen Ziegeln.

Material		Grösse der mechanischen Bodenelemente						
		< 0,001 mm	0,001 —0,005	0,005 —0,01	0,01 —0,05	0,05 —0,25	0,01 —0,25	< 0,25
Löss-	1	42,72	43,66	25,29	23,46	20,39	21,63	19,70
substanz	2	42,84	46,59	26,06	25,02	24,23	22,84	27,56
Podsol-	1	54,16	44,70	30,67	23,35	22,09	21,22	13,02
substanz	2	54,91	56,81	31,43	25,38	—	21,74	13,59

Das Volumen der trockenen Ziegeln wurde mittels zweier verschiedener Methoden bestimmt: 1. durch direkte Ausmessung mit dem Stangenzirkel und 2. nach dem Gewichte und Umfange des durch die Ziegeln hinausgedrängten Quecksilbers (nur für die festen Ziegeln).

Im Resultate erschien eine beträchtliche Verkleinerung des Volumens jener Ziegeln, die aus den feinsten Abschlämmprodukten verfertigt waren.

Die hierzu gehörigen Versuchsdaten sind in vorhergehenden Tabellen (S. 10—16) schon zusammengestellt. In der folgenden Tabelle wird nur die in Prozenten ausgedrückte Verkleinerung der Ziegeln im Vergleich zu ihrem uranfänglichen Volumen aufgeführt.

Volumenverminderung der Ziegeln in Prozenten ihres Urumfanges:

Material	< 0,001	0,001 —0,005	0,005 —0,01	0,01 —0,05	0,05 —0,25	0,01 —0,25	< 0,25 mm
	%						
Löss	33,60	33,60	12,87	1,61	0,00	1,37	13,48
	33,70	36,02	13,53	2,68		3,72	21,87
Podsol	30,90	9,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,00
	31,60	16,00	2,00			1,50	

Die Verminderung des Volumens der Ziegeln entstand in gewissem Grade auf Rechnung der Verdunstung des Wassers. Hierbei werden die feinerdigen Elemente, indem sie das Wasser verlieren, auf kleineren Umfang durch Molekularkräfte zusammengezogen.

Diese Zusammenziehung der Bodenteilchen ging jedoch bei der völligen Verdunstung des Wassers nicht bis zum Ende, d. h. bis zur dichtesten Lagerung in ein Massiv ohne Poren, ohne Lücken; doch abhängig von der verschiedenen Grösse der Partikeln, ihrer Form und Lagerungsweise, kam sie auf einer gewissen Stufe, mehr oder weniger Hohlräume veranlassend, zum Stillstand.

Ueber die Grösse der Hohlräume kann man nach der Differenz zwischen dem spezifischen Gewicht und dem Volumgewicht der betreffenden Materialien urteilen.

Betreffend die Resultate der Berechnungen hierüber vergl. das Kapitel über die Porosität (S. 67).

Ein Vergleich der Zahlendaten über die Feuchtigkeit der Ziegeln (S. 53) und über die Verminderung

ihres Volumens (S. 54) zeigt, dass ausser der anfänglichen Wassermenge, die Korngrösse und die Form der mechanischen Elemente einen Einfluss auf das Endresultat der Volumenverminderung ausgeübt haben: die feinsten Abschlämmprodukte ergaben gleichmässig für Podsol und Löss die grösste Verminderung des Volumens; es legten sich die flachen und schuppigen Lösspartikeln enger aneinander wie die analogen kugelförmigen Podsolteilchen.

Die Resultate der Berechnungen des Volumgewichtes nach dem gefundenen Umfange und Gewichte der absolut trockenen Ziegeln (Tabelle S. 56) gaben für die Podsol- und Lösschlämmprodukte zwei Reihen abweichender Zahlen: Das Volumgewicht der mechanischen Podsolelemente fiel — ebenso wie das der Quarzkörner bei Wollny — in der Richtung von den gröberen Partikeln bis zu den feineren (ausser Schlamm), während das Volumgewicht der Lössteilchen in derselben Richtung stieg.

Die das Volumgewicht der Podsol- und Lössmaterialien betreffenden Zahlendaten und Berechnungsresultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Material		Absol. trockene Ziegeln				Spezif. Gewicht
		Gewicht	Umfang	Volumgew. part.	Volumgew. mittel	
		gr	ccm			
Schwarzerde	1	13,888	6,92	2,007	2,012	2,7212
(Untergrund)	2	14,584	7,23	2,017		
Löss (< 0,25 mm) . . .	1	17,672	8,60	2,055	2,020	2,7267
	2	26,027	13,10	1,986		
Podsol						
a) natürlicher		18,987	10,00	1,899	1,899	2,682
b) durchgesiebt (< 3 mm)		18,896	10,00	1,890	1,890	2,674
c) „ (< 0,25 mm)	1	18,447	10,00	1,845	1,847	2,658
	2	18,486	10,00	1,849		

Material		Absol. trockene Ziegeln				Spezif. Gewicht
		Gewicht	Umfang	Volumgew. part.	Volumgew. mittel	
Mechanische Lösselemente:		gr	ccm			
1. Schlamm (< 0,001)	1	12,5314	6,59	1,901	1,902	2,755
	2	12,570	6,60	1,904		
2. Feinstaub (0,001—0,005)	1	12,390	6,60	1,877	1,878	2,744
	2	21,148	11,26	1,878		
3. Mittelstaub (0,005—0,01)	1	15,468	8,66	1,786	1,799	2,705
	2	26,264	14,50	1,811		
4. Grobstaub (0,01—0,05)	1	15,795	9,78	1,615	1,606	2,688
	2	26,074	16,32	1,598		
5. Feinsand (0,05—0,25)	1	15,776	9,94	1,587	1,574	2,686
	2	26,165	16,77	1,560		
6. Grobstaub und Feinsand (0,01—0,25)	1	15,210	9,57	1,591	1,619	2,687
	2	27,232	16,54	1,646		
Mechanische Podsolelemente:						
1. Schlamm	1	10,7799	6,84	1,576	1,571	2,669
	2	10,8337	6,91	1,568		
	3	11,0091	7,02	1,568		
2. Feinstaub	1	10,6175	8,40	1,264	1,323	2,666
	2	12,6457	9,14	1,383		
3. Mittelstaub	1	14,6166	9,90	1,476	1,470	2,686
	2	14,3414	9,80	1,464		
4. Grobstaub	1	15,8312	10,00	1,583	1,614	2,658
	2	16,4572	10,00	1,646		
5. Feinsand		16,9140	10,00	1,691	1,691	2,662
6. Grobstaub und Feinsand	1	16,7968	9,85	1,705	1,719	2,660
	2	17,2410	9,95	1,733		

Aus diesen Versuchen lässt sich entnehmen:

1. dass das Volumgewicht der Abschlämmprodukte des Löss um so grösser ist, je feiner die Lösspartikeln sind;

2. dass das Volumgewicht der mechanischen Podsolelemente dagegen um so kleiner ist, je feiner die Podsol-

teilchen sind (mit Ausnahme der schlammigen Partikeln);

3. dass das Volumgewicht der flachen Partikeln (wie der Podsolschlamm- oder Lössteilchen) höher ist als das der entsprechenden kugelförmigen Bodenelemente;

4. dass die Gemische der nebenstehenden Abschlämmprodukte des Feinsandes und Grobstaubs sowie die Bodenarten als Gemische der verschiedensten Kornsortimente ein grösseres Volumgewicht besitzen als jedes einzelne Sortiment,

5. dass das Volumgewicht (ebenso auch spezifische Gewicht) des Löss sowie seiner feinsten mechanischen Elemente höher ist als das des Podsols und seiner Abschlämmprodukte.

Die Ursache der beim ersten Anblick anomalen Erscheinung, dass nämlich das Volumgewicht der betreffenden mechanischen Podsol- und Lösselemente nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ verschiedene Resultate ergab, hängt augenscheinlich nicht von der Korngrösse ab, sondern von anderen Eigenschaften des betreffenden Bodenmaterials.

Vor allem könnte die Verminderung des Volumgewichtes der feineren Lössteilchen im Vergleich mit ebensolchen Podsolteilchen sich auf das grössere spezifische Gewicht des Löss beziehen. Der Einfluss des spezifischen Gewichtes der mechanischen Bestandteile auf das Volumgewicht der Bodenmasse würde entscheidenden Wert haben, wenn die Porositätsgrösse aller Abschlämmprodukte gleich wären.

In der Wirklichkeit zeigten die Berechnungen, dass die Porosität der betrachteten Materialien ebenso quantitativ wie qualitativ verschieden ist (Tabelle S. 67).

Die hauptsächliche Ursache der nicht übereinstimmenden Veränderung des Volumgewichtes der

Löss- und Podsolschlämmprodukte ist darauf zurückzuführen, dass die Porosität der ersten mit der Verkleinerung der Bodenteilchen abnimmt, die der zweiten dagegen mit der Verkleinerung zunimmt.

Da aber das Volumen der trockenen Bodenmasse aus einem konstanten Umfange ihrer festen mechanischen Partikeln und aus einem variablen Umfange der Poren und Lücken besteht, so werden alle Veränderungen des Volumgewichtes einer und derselben Bodenmasse von dieser zweiten Grösse des Gesamtvolumens abhängig sein, umsomehr, als der Umfang der Poren einen bedeutenden Teil (in diesem Falle 25—50 %) des Gesamtvolumens darstellt.

Vergleicht man die Daten über das Volumgewicht und die Porosität der Podsol- und Lössmaterialien, so sieht man deutlich, dass das Volumgewicht der Masse der feinen Podsolteilchen sich vermindert, weil ihre Porosität steigt, dagegen das der Masse derselben Lössteilchen steigt, da ihre Porosität fällt.

Wenn wir die Podsol- und Lösschlämmprodukte nach ihrer zunehmenden Porosität — aber nicht nach ihrer Korngrösse — in einer Reihe aufstellen, so finden wir eine vollständig regelmässige Verminderung des Volumgewichtes der Abschlämmprodukte entsprechend der Vergrösserung des Volumens ihrer Poren und Lücken.

Porosität, Volumgewicht und spez. Gewicht der Podsol- und Lössprodukte.

Porosität:

a) Löss.

25,90 %	30,96	31,56	33,51	39,80	40,24	41,51	—

b) Podsol.

—	30,50	35,40	36,50	39,30	41,11	45,30	50,26

Volumgewicht:

a) Löss.

2,020	1,902	1,878	1,799	1,619	1,606	1,574	—

b) Podsol.

—	1,847	1,719	1,691	1,614	1,571	1,470	1,323

Spezifisches Gewicht:

a) Löss.

2,7267	2,755	2,744	2,705	2,687	2,688	2,689	—

b) Podsol.

—	2,658	2,660	2,662	2,658	2,669	2,686	2,666

Diese Tabelle (s. auch S. 55 u. 65) zeigt ohne weiteren Kommentar, dass der Einfluss der Porosität der Gesamtmasse auf ihr Volumgewicht so gross ist, dass der Wert des spezifischen Gewichtes der die Bodenmasse bildenden Teile in diesem Falle vor demselben vollständig verschwindet.

Die Korngrösse hat dagegen keinen Einfluss auf das Volumgewicht der Bodenmasse.

Was die Ursachen betrifft, von denen die Porositätsschwankungen der Bodenmasse abhängig sind, sowie auch jene Erscheinung, dass die Porosität der feineren Lösschlämmprodukte kleiner ist, als die der gröberen, und dass dies bei den Podsolprodukten umgekehrt ist, — so werden diese (d. h. mechanische Zusammensetzung, Form und Relief der Partikeln, Grösse ihrer Oberfläche u. and.) im Kapitel über die Bodenporosität untersucht werden.

Das höhere Volumgewicht aller Art Gemische (aus einzelnen Bodenpartikeln oder Strukturkrümeln gebildet) wird laut Wollny dadurch erklärt, dass

die kleineren Teilchen die Zwischenhohlräume ausfüllen, wodurch dieselben infolge Luftverdrängens das Gewicht der Volumeinheit der Bodenmasse vergrössern.

Ferner geht aus der letzten Tabelle für einige Fälle, wo die Porosität der Podsol- und Lössmaterialien annähernd gleich ist, der Einfluss des spezifischen Gewichts der Bodenteilchen auf das Volumgewicht der Bodenmasse hervor.

Z. B. ist infolge des höheren spezifischen Gewichtes der Lösschlammteilchen (2,755) im Vergleich mit dem spezifischen Podsolgewicht (2,658) — bei fast gleichen Porositätsprozenten: 30,96 % für Löss und 30,50 % für Podsol — das Volumgewicht des ersten (1,902) höher als das des letzten (1,847).

Dasselbe ersieht man aus dem Vergleiche der Versuchsdaten für das Lössgemisch aus dem Feinsand und dem Grobstaub (Porosität = 39,80 %) und für den Grobstaub des Podsols (Porosität = 39,30 %).

In Bezug auf den Einfluss des Wassers auf das Volumgewicht zeigen die unten angeführten Daten, dass das Wasser, ebenso wie jede andere relativ leichte Beimischung zu der Bodenmasse, das Volumgewicht vermindert; füllt aber das Wasser als Flüssigkeit nur die Zwischenhohlräume ohne Veränderung des Gesamtvolumens der Bodenmasse aus, so wirkt es wie kleinere Bodenpartikeln im Gemisch mit gröberen, d. h. mit dem Wassergehalt vermehrt sich das Volumgewicht der Gesamtmasse.

So z. B. ist das Volumgewicht der feinsten Lösschlämmprodukte infolge ihrer kleinen Porosität und grossen Wasserkapazität — Trockensubstanz nimmt durch die Benetzung im Umfange von 30—35 V % zu — für die feuchte Masse viel geringer als für die trockene.

Volumgewicht
der feinsten Lösschlämmprodukte:

		Schlamm (< 0, 01)	Feinstaub (0,001—0,005)
I. Die trockene Masse	1	1,901	1,877
	2	1,904	1,878
II. Die feuchte Lössmasse	1	1,801	1,791
	2	1,805	1,761

Die anderen Löss- und alle Podsolmaterialien (mit grösserer Porosität und kleinerer Wasserkapazität) besitzen dagegen ein grösseres Volumgewicht im feuchten Zustande als im trockenen.

Volumgewicht der Podsol- und Lössmaterialien im trockenen und feuchten Zustande:

	<0,001	0,001 —0,005	0,005 —0,01	0,01 —0,05	0,05 —0,25	0,01 —0,25	<0,25
Podsolsubstanz:							
a) trockene .	1,571	1,323	1,470	1,614	1,691	1,719	1,845
b) feuchte . .	1,672	1,747	1,897	2,007	2,065	2,045	2,092
Lössubstanz:							
a) trockene .	1,902	1,878	1,799	1,606	1,574	1,619	2,020
b) feuchte . .	1,803	1,776	1,962	1,953	1,926	1,928	2,054

Im Hinblick auf diese doppelte Rolle des Wassers gilt unter obigem Vorbehalt der Schlussatz von Wollny, dass nämlich „das Volumgewicht mit dem Wassergehalt steigt, und zwar in um so stärkerem Grade, je grösser die Wasserkapazität des Bodens ist“ (Forschungen der Agrikulturphysik 1885, B. VIII, S. 366).

Auf Grundlage des Versuchsmaterials und der Literaturdaten des letzten Kapitels können die Schlussfolgerungen betreffs des Volumgewichtes der Bodenmasse in nachstehenden Hauptsätzen zusammengefasst werden:

1. Das Volumgewicht (Dichte) des Bodens — durch die allgemeine Dichtigkeitsformel $q = \frac{P}{V}$ ausgedrückt — ist der Masse der Trockensubstanz (P) proportional und umgekehrt proportional dem von dieser Substanz (nebst Poren und Lücken) gebildeten Gesamtumfange (V).

2. Das Volumgewicht, als Funktion der Masse P der trockenen Bodensubstanz, ist abhängig

a) von dem spezifischen Gewichte der Substanz dieser Bodenmasse, folglich

b) von ihrer chemischen Zusammensetzung und

c) von den chemisch-physikalischen Vorgängen, welche lediglich die Bodenmasse, jedoch nicht ihr Volumen ändern (z. B. beim Auswaschungsprozesse).

3. Das Volumgewicht der verschiedenen Bodenarten, bei einem und demselben Porositätsprozent, ist dem spezifischen Gewichte ihrer mechanischen Elemente proportional und überhaupt um so höher, je mehr der Gehalt der spezifisch schweren Substanz vorwiegt: Humusgehalt vermindert, Kalk- und Quarzgehalt dagegen vermehrt das Volumgewicht der Bodenmasse.

4. Das Volumgewicht, als Funktion vom zeitweiligen Umfange V der Bodenmasse nebst ihren Poren und Lücken, ist abhängig von dem Gesamtvolumen dieser letzteren, von der Besonderheit des Reliefs und der Gestalt der Bodenteilchen, sowie von jenen Agentien, die durch Zusammenpressung, Lockerung, Krümelung, Verstäubung der Bodenmasse u. s. w. die Bodenporosität vergrössern oder vermindern.

5. Das Volumgewicht ist also um so grösser, je weiter die Beziehungen zwischen den gröberen und kleineren Bodenteilchen sind: das Volumgewicht des Gemisches ist grösser als das der einzelnen Korn-

sortimente, ebenso ist das Bodenvolumgewicht höher als das seiner einzelnen mechanischen Elemente.

6. Das Volumgewicht der Bodenkonstituenten, die nach der Form ihrer Teilchen und der Besonderheit ihrer Oberfläche den Lösspartikeln gleichen, ist um so grösser, je kleiner die mechanischen Elemente dieses Materials sind.

7. Das Volumgewicht der dem Quarzsand ähnlichen Materialien (z. B. Podsolboden) ist dagegen desto grösser, je gröber die Teilchen dieses Bodenmaterials sind.

8. Das Bodenvolumgewicht steigt mit dem Wassergehalt dann, wenn das Wasser nur Zwischenhohlräume, ohne die Partikeln auseinanderzuschieben, einnimmt (V bleibt konstant, P wird grösser), im entgegengesetzten Falle wirkt das Wasser auf das Bodenvolumgewicht ebenso, wie jede andere spezifisch leichte Beimischung.

Die Porosität des Bodens, sowie der Podsol- und Lösschlämmprodukte.

I.

Das temporäre Volumen der Bodenmasse, wie das jeder anderen lockeren Aggregation, sowie das beständigere Volumen der natürlichen Bodenarten besteht aus zwei verschiedenen Grössen:

1. dem beständigen Volumen der mechanischen Elemente der Bodenmasse und
2. dem schwankenden Volumen der gesamten Zwischenhohlräume.

Im Leben des Bodens hat diese letztere Grösse (Poren und Lücken), als Wohnstätte der Bodenbevölkerung, als Laboratorium der verschiedenen bodenbildenden Prozesse, eine ebensolche Bedeutung, wie die Bodensubstanz selbst.

Indem die Porosität des Bodens innerhalb weiter Grenzen schwankt, — nach Wollny zwischen 20 bis 85 V %, — werden die physikalischen und chemischen Verwitterungsprozesse, die biologischen Vorgänge, die Bewegung des Wassers, der Lösungen und der Gase, die Zersetzung der Tier- und Pflanzenreste u. s. w. bald gemindert, bald vermehrt.

Die Bodenporosität wurde wegen ihrer grossen Bedeutung sowohl für die Agrologie, als auch für die Hygiene seit langer Zeit untersucht.

Wolff, Renk, Fleck, Pettenkofer gaben mehrere Methoden für die Untersuchung dieser Eigenschaft des Bodens.

Wollny hat eine grosse Anzahl von Untersuchungen über die Porosität der verschiedenen Bodenkonstituenten gemacht.

Wegen der grossen Bedeutung dieser Untersuchungen sei es mir gestattet, hier die Schlussfolgerungen von Wollny über die Porosität (Luftkapazität) des Bodens anzuführen („Forschungen der Agrikulturphysik" 1885, Bd. VIII, S. 371 und „Bodenphysik" von Wollny in Lueger „Lexikon der gesamten Technik 1900, Bd. II, S. 527).

„Bei einem und demselben Boden ist die Porosität besonders von den Strukturverhältnissen desselben abhängig";

„die Luftkapazität der Böden von verschiedener Körnung ist im trockenen Zustande um so grösser, je feiner die Bodenpartikel sind";

„der Boden im pulverförmigen Zustande enthält weniger Luft als im krümeligen";

„die von den Böden im feuchten und nassen Zustande eingeschlossenen Luftmengen im grossen und ganzen sind um so grösser, je kleiner deren Wasserkapazität ist";

„die Luftkapazität der Böden von verschiedener Körnung im feuchten und nassen Zustande nimmt mit dem Durchmesser der Bodenteilchen zu";

„durch engere Aneinanderlagerung der festen Bodenelemente wird das zwischen denselben befindliche Luftvolumen vermindert" und

„die Luftkapazität ist um so kleiner, je höher der Gehalt des Bodens an Steinen".

Spätere Arbeiten, sowie die Porositätsbestimmungen der mechanischen Podsol- und Lössbestandteile ergänzen jedoch wesentlich die oben erwähnten Schlussfolgerungen.

Herr Stahl-Schröder gibt in seiner Arbeit „Ueber Wasser- und Luftkapazität einiger Bodenarten“ 1892, S. 51, für die Porosität einiger Erdmaterialien folgende Versuchsdaten:

	3—5 mm	2—3	1—2	0,5—1	0,25—0,5	< 0,25
Quarz . . .	—	39,46	38,94	40,03	49,31	57,09
Diluvialsand .	42,49	41,29	39,50	38,31	35,87	—
Tertiärsand .	—	—	—	—	—	51,96
Diluviallehm .	59,47	58,70	56,87	53,71	50,32	51,43
Diluvialmergel	56,51	55,74	53,73	51,41	47,95	44,94
Kaolin . . .	—	—	—	—	—	66,87

Hier nimmt die Porosität der Versuchsmaterialien mit Verminderung der Korngrösse — laut Wollny — nur für Quarz zu, aber für die anderen Materialien verändert sie sich auf ganz andere Weise.

Viel früher hat Prof. Fadejew in Moskau eine Beobachtung gemacht, dass die Porosität einiger Bodenmaterialien mit Verkleinerung der Partikeln bis zur geringen Volumgrösse (16%) fällt („Bodenkunde“ von Prof. Williams 1897, S. 121).

II.

Die bei der Bestimmung des spezifischen und Volumgewichts der Podsol- und Lössmaterialien gefundenen Versuchsdaten erlauben leicht die Porosität derselben zu berechnen und zugleich die Frage über die Bedeutung der Korngrösse für die Bodenporosität zu beantworten, denn die Partikeln des Löss und Podsols unterscheiden sich scharf nach ihrer Korngrösse, Form und Charakter der Oberfläche.

Bei der Anwendung der bekannten Formel:

$$P = 100 \left(1 - \frac{D}{\Delta}\right),$$

zur Berechnung der Porosität P nach den früher mitgeteilten Zahlendaten des Volumgewichtes D und spezifischen Gewichtes Δ (S. 55 — 56) erhalten wir folgende Prozentzahlen für die Porosität der Podsol- und Lössziegeln (bei 105° C getrocknet).

Abschlämmprodukte:	$<0{,}001$	0,001 —0,005	0,005 —0,01	0,01 —0,05	0,05 —0,25	Mischungen 0,01 —0,25	Mischungen $<0{,}25$
Löss . . .	30,96%	31,56	33,51	40,24	41,51	39,80	25,90
Podsol . . .	41,11	50,26	45,30	39,30	36,50	35,40	30,50

Diese Tabelle zeigt deutlich, dass die Porosität der mechanischen Podsol- und Lösselemente sich in den zu einander entgegengesetzten Richtungen verändert, namentlich ist die Porosität der Lösschlämmprodukte — wie die der Strukturkörnchen nach Wollny — um so kleiner, je feiner die Partikeln sind, dagegen für die Podsolprodukte wie für die Quarzkörnchen nimmt sie mit der Verminderung der Partikeln (nur bis zu den Schlammteilchen) zu.

Wiederholte Versuche ergaben die gleichen Resultate.

Die Ursache der Porositätsvermehrung der Bodenmasse bei der Verminderung ihrer Teilchen beruht nach Wollny*) darauf, „dass dem Entweichen der Luft aus den lockeren Materialien sich um so grössere Widerstände entgegenstellen, je feinkörniger die Partikel sind.“ „Ob Andere Ursachen, z. B. die Form der Bodenteilchen, für die hervorgetretenen Unterschiede“ —

*) Forschungen der Agrikulturphysik, Bd. VIII, S. 371.

schreibt Wollny ferner — „in Anspruch zu nehmen seien, lässt sich mangels einer zuverlässigen Methode schwer ermessen."

Die erste Erklärung bezüglich der Porosität der Podsol- und Lössmaterialien kommt in Wegfall, denn diese Materialien wurden bei voller Sättigung mit Wasser, folglich ohne Luft geformt, daher muss man andere Ursachen dieser für die bodenbildenden Prozesse im Löss und Podsol wichtigen Erscheinung suchen.

Oben wurde gesagt, dass die Podsol- und Lössziegeln beim Trocknen im Umfange manchmal bis zu 33 V % verloren haben, folglich in diesem Falle wurde die Bodenmasse nur von starken Kohäsionskräften zusammengepresst.

Die Widerstände bei den engeren Aneinanderlagerungen der festen Bodenteilchen können nur aus der Korngrösse und der zufälligen Lagerungsweise der Bodenpartikeln und aus Form und Charakter der Oberfläche derselben erklärt werden.

Die zufällige Lagerungsweise sogar der kugelförmigen Körper gleicher Grösse hat nach theoretischen Berechnungen die Porositätsschwankungen zwischen 25,95 % (bei der dichtesten Lagerung) und 47,64 % des Gesamtvolumens (bei der lockersten) zur Folge.*)

Bei ungleicher Korngrösse — wie in unserem Falle — vermindern die kleinen Teilchen noch mehr die Porosität der Bodenmasse durch Lagerung zwischen den gröberen Partikeln.

---

*) Prof. Dr. E. Ramann, „Bodenkunde", 1893, S. 53.

Prof. Dr. Soyka, „Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens" (Forschungen der Agrikulturphysik 1885, B. VIII, S. 3—4).

C. Lang, Forschungen der Agrikulturphysik 1878, B. I, S. 144.

Gleichermassen zur Verminderung der Porosität führt es, wenn an Stelle der kugelförmigen Gestalt mit krummen Oberflächen eine Form der ebenen Körper geglattete Oberflächen der Teilchen vorkommen; womit eine engere Aneinanderlagerung der festen Bodenelemente bedingt wird.

Mikroskopische Untersuchungen der Podsol- und Lösspartikeln zeigten, dass in der Podsolmasse die kugelförmigen Quarzkörner über die flachen Partikeln überwiegen und dass in den feinsten Abschlämmprodukten die Menge der flachen und blätterigen Teilchen sich merkbar vergrössert.

— Auch die chemische Analyse zeigte, dass der Podsol eine grössere Menge von Quarz enthält als Löss. —

In der Lössbodenmasse dagegen überwogen die flachen Partikeln.

Auf der Oberfläche der gröberen Lössteilchen war es möglich, Spuren der chemischen Verwitterung zu sehen, wovon ihre Oberfläche rauh wurde.

Am nächsten liegt die Erklärung der sich widersprechenden Resultate der Porositätsbestimmungen der Podsol- und Lösskonstituenten in der Verschiedenheit der Form der einzelnen Bodenkörner, im Charakter ihrer Oberfläche und in der Menge der feinsten und flachen Teilchen zwischen den gröberen und kugelförmigen.

Die flachen und feineren Lösspartikelchen werden beim Benetzen und Austrocknen durch Kohäsionskräfte dichter zusammengehalten als ebenso grosse, der Gestalt nach aber kugelförmige Podsolteilchen oder gröbere und eckige Lösskörner.

Dasselbe muss man über die Porosität des Podsols sagen; seine flachen Schlammteilchen geben in Masse

das Porositätsprozent kleiner (41,11 V %), als nahe stehende Teilchen des Podsolfeinstaubs (50,26 %).

Die genaue Ausmessung der Gesamtoberfläche der Bodenpartikeln könnte als eine objektive Grundlage zur Bestimmung der Bedeutung der Oberfläche derselben für die Bodenporosität vom hohen Werte sein; leider lässt sich die Gesamtoberfläche der festen Bodenpartikeln aus Mangel einer zuverlässigen Methode schwer ausmessen.*)

Ausser der Form der Bodenteilchen, ihrem Relief und Oberfläche, übt ferner die mechanische Zusammensetzung der Bodenmasse einen grossen Einfluss auf die Bodenporosität aus, namentlich das Verhältnis zwischen der Korngrösse der feineren und der gröberen mechanischen Bodenbestandteile.

Das oben Gesagte wird durch die relativ kleine Porosität der Mischungen aus Feinsand (0,05—0,25) und Grobstaub (0,01—0,05 mm), sowie aus allen mechanischen Podsol- oder Lössbestandteilen bestätigt.

In diesem Sinne verändert sich auch die Porosität des natürlichen Podsols, der durch ein Sieb von 0,05 mm, resp. 3 mm durchgesiebt wurde.

So ist die Porosität der Podsolmasse:

a) natürlich . . . . . 29,19 V %
b) durchgesiebt v. 3 mm 29,32 V %
c) „ v. 0,25 „ 30,50 V %.

Dass die Porosität von Gemischen mechanischer Bodenkonstituenten kleiner ist, als die einer jeden einzelnen derselben, wurde auch von allen Forschern beobachtet.

---

*) Vergl. „Untersuchungen über die physikalischen Bodeneigenschaften“ (1901) von Dr. Mitscherlich.

Z. B. führt Wollny folgende Versuchsdaten über die Porosität der verschiedenen Bodenkonstituenten und ihrer Mischungen (Forschungen der Agrikulturphysik, Bd. VIII, S. 368—369) an:

Quarzsand (trocken)	Porosität in Volumproz.	Lehm (trocken)	Porosität in Volumproz.
mm	%	mm	%
I. 0,01—0,071	47,89	Pulver:	
II. 0,071—0,114	46,87	I. 0,00—0,25	52,99
III. 0,114—0,171	43,36	Krümel:	
IV. 0,171—0,25	41,75	II. 0,05—1,00	59,29
V. 0,25—0,5	40,57	III. 1,00—2,00	59,72
VI. 0,5—1,0	39,10	IV. 2,00—4,00	60,60
VII. 1,0—2,0	38,20	V. 4,00—6,75	60,53
VIII. Gemisch v. I—VII	31,67	VI. 6,75—9,00	61,78
		VII. Gemisch v. II—VI	55,76

Die oben angeführten Versuchsdaten und Betrachtungen über die Porosität der verschiedenen Bodenmaterialien führen zu dem allgemeinen Schluss, dass die Bodenporosität — ausser dem Einfluss, welche äussere und innere (Molekular-) Kräfte (Zusammenpressung, Lockerung, Transport und Auswaschung der Bodenteilchen u. s. w.), sowie der veränderlichen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen — sich in der innigen Abhängigkeit von den chemisch-physikalischen Eigenschaften der Bodenmasse befindet, die auf die genannten Wirkungskräfte auf die eine oder andere Weise reagiert.

Von diesem Gesichtspunkte aus erscheint die Bodenporosität als Funktion —

1. von der mechanischen Zusammensetzung, im Sinne eines weiteren oder engen Verhältnisses zwischen den gröberen und feinsten Bodenteilchen (z. B., die Porosität der Mischungen ist kleiner, als die der einzelnen Kornsortimente),
2. von der Form der Bodenteilchen — Porosität der Bodenmasse aus flachen Partikeln ist kleiner, als die der Masse aus kugelförmigen Bodenelemente, —
3. von der Grösse der Gesamtoberfläche der Bodenteilchen — einer grösseren Oberfläche der gleichförmigen und gleichgrossen Bodenteilchen entspricht eine grössere Bodenporosität.

In Betreff des Wertes der Korngrösse der mechanischen Bodenbestandteile für die Porosität der Bodenmasse muss man sich verneinend aussprechen,

erstens, weil — wie die Berechnungen zeigen — das Volumenverhältnis zwischen der Gesamtmasse und deren Hohlräumen für die Partikeln gleicher Grösse und regelmässiger Gestalt konstant bleibt, unabhängig von der Grösse des Durchmessers der Teilchen, und

zweitens, weil die Versuchsdaten keine Abhängigkeit der Bodenporosität von der Korngrösse zeigen: mit der Verminderung der Bodenteilchen nimmt die Porosität der Lössmasse ab, die der Podsolmasse nimmt dagegen — in gewissen Grenzen — zu.

Die Verschiedenartigkeit der Korngrösse hat für die Bodenporisität einen ganz anderen Wert. Darüber ist bereits oben gesprochen worden.

Es ist notwendig noch Folgendes hinzuzufügen: bestände die Bodenmasse nach ihrer mechanischen Zusammensetzung aus solchen Teilchen, deren Volumengrösse sich in demselben Verhältnis wie die Volumengrösse der Hohlräume verändern würde, so würde sich die Bodenporosität bis zur unendlich kleinen Grösse vermindern.

Nachtrag.

Während des Druckes ergaben sich folgende Aenderungen:

Seite 40, Zeile 5 von oben:

3. das spezifische Gewicht der mechanischen Podsolbestandteile, im Zusammenhang mit seinen petrographischen und chemischen Elementen, nimmt etc.

Seite 44, Zeile 5 von oben:

(unter anderen gleichen Bedingungen) befinden.

Zeile 19 und 20 von oben:

die Auswaschung oder Füllung der Poren und Lücken mit Wasser, Lösungen oder Feinteilchen), die Grösse P etc.

Zeile 5 und 4 von unten:

resten sowie mit Wasser und Gasen untermischt, schwanken diese Grenzen weit.

Litteratur.

E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik.

E. Ramann, Forstliche Bodenkunde und Standortslehre, 1893.

Sibirtzew, Bodenkunde. Petersburg 1901.

Williams, Bodenkunde. Moskau 1897.

„ Untersuchungen über die mechanische Bodenanalyse (Forschungen der Agrikulturphysik von Wollny, B. 18, 1895).

Schübler, Grundsätze der Agrikulturchemie, 1838.

Trommer, Die Bodenkunde. Berlin 1857.

Liebenberg, Verhalten des Wassers im Boden. Halle 1873.

A. Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie. Heidelberg 1902.

E. Schöne, Ueber Schlämmanalyse. Zeitschrift für analytische Chemie, 7, S. 29.

A. Mitscherlich, Untersuchungen über die physikalischen Bodeneigenschaften. Merseburg 1901.

M. Stahl-Schröder, Ueber Wasser- und Luftkapazität einiger Bodenarten. Leipzig 1892.

Dokutschajew und Sowjetow, Materialien für Forschung russischer Bodenarten. Petersburg.

P. Kossowitsch, Journal für experimentelle Landwirtschaft. Petersburg.

P. Ototzky, Zeitschrift „Die Bodenkunde". Petersburg.

A. Sauer, Ueber die äolische Entstehung des Löss. Halle 1889.

P. Tutkowsky, Zur Frage der Entstehung des Löss. Moskau 1899.

A. Georgijewsky, Ueber den Podsolboden, 1888.

Dobrowolsky, Die Natur und die Entstehung des Podsols. 1900.

A. Gordjagin, Die Bodenarten und die Pflanzenwelt Westsibiriens. Kasan 1901.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	3
Die allgemeinen physikalischen Eigenschaften der Podsol- und Lösschlämmprodukte	9
Die chemische Zusammensetzung des Löss- und Podsolbodens sowie ihrer Abschlämmprodukte . . .	17
Das spezifische Gewicht der Bodenkonstituenten und der mechanischen Podsol- und Lösselemente . .	30
Die Dichte des Bodens und das Volumgewicht der Podsol- und Lösschlämmprodukte	41
Die Porosität des Bodens, sowie der Podsol- u. Lösschlämmprodukte	64
Litteratur	75